

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

**Untersuchungen zu Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz bei
Laufbandarbeit adulter Hunde in Abhängigkeit
vom Trainingszustand**

von Carolin Daniela Rettenmeier

geb. Meyringer

aus Regensburg

München, 2018

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik

Arbeit angefertigt unter Leitung von:
Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.
Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle
Korreferent/en: Priv.-Doz. Dr. Shana M. Bergmann

Tag der Promotion: 27. Juli 2018

Für meine Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	1
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	5
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	9
TABELLENVERZEICHNIS	15
I. EINLEITUNG	19
II. LITERATURÜBERSICHT.....	21
1. Energiestoffwechsel von Säugetieren	21
1.1 Energiebedarf.....	21
1.2 Ruhestoffwechsel.....	25
1.3 Leistungsstoffwechsel.....	25
1.4 Messung des Energiebedarfs.....	29
2. Effekte von Ausdauertraining.....	34
2.1 Effekte von Ausdauertraining auf die Herzfrequenz	35
2.2 Effekte von Ausdauertraining auf den Energiestoffwechsel	36
2.3 Effekte von Ausdauertraining auf die Muskeldicke	39
2.4 Effekte von Ausdauertraining auf die Aktivität.....	41
3. Zielsetzungen und Arbeitshypothesen.....	41
3.1 Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme	41
3.2 Effekte von Ausdauertraining und deren Reversibilität.....	42
III. Tiere, Material und Methoden.....	45
1. Versuchstiere	45
2. Tierhaltung	47
3. Verwendete Geräte.....	48
3.1 Laufband	48
3.2 Respirometer	50
3.3 Respirometriemasken.....	51
4. Versuchsaufbau	52
4.1 Allgemein.....	52
4.2 Gewöhnungsphase	53
4.3 Trainingsphase	54
4.4 Trainingsfreie Zeit	59

4.5	Tatsächlich absolviertes Training	59
5.	Messungen in den Messphasen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“	60
5.1	Herzfrequenzmessungen	60
5.2	Respiratorische Messungen	63
5.3	Muskeldickenmessungen	69
5.4	Aktivitätsmessungen	74
5.5	Umgebungstemperaturmessungen	75
6.	Erweiterte Daten-Analyse.....	76
7.	Statistische Methoden	77
IV.	Ergebnisse	79
1.	Allgemeinbefinden und Gesundheitszustand.....	79
2.	Umgebungstemperaturmessungen	79
2.1	Innentemperaturen	79
2.2	Außentemperaturen	80
3.	Körpergewicht, Body Condition Score und Futtermenge	82
3.1	Körpergewicht.....	82
3.2	Body Condition Score.....	82
3.3	Futtermenge	83
4.	Elektrokardiogramm	84
4.1	Ruhe-EKG.....	85
4.2	Belastungs-EKG	85
4.3	Korrelation der Herzfrequenz von EKG und Polar-Messgerät.....	88
5.	Respirometrie	91
5.1	Sauerstoffaufnahme	91
5.2	Atemfrequenz.....	99
5.3	Atemminutenvolumen.....	101
6.	Muskeldicken.....	102
7.	Aktivitätsmessungen	103
7.1	Aktivität an den verschiedenen Wochentagen	103
7.2	Aktivität in den unterschiedlichen Versuchsphasen	103
7.3	Aktivität und Außentemperatur	104
V.	Diskussion	109
1.	Limitationen der Methodik	109

1.1	Versuchsaufbau und Tierzahlen.....	109
1.2	Untersuchungsmethoden.....	110
1.3	Erweiterte Daten-Analyse.....	115
2.	Effekte von Ausdauertraining.....	117
2.1	Effekte von Ausdauertraining auf die Herzfrequenz	117
2.2	Effekte von Ausdauertraining auf den Energiestoffwechsel	121
2.3	Korrelation von Herzfrequenz (Polar bzw. EKG) und Sauerstoffverbrauch ..	130
2.4	Effekte von Ausdauertraining auf die Muskeldicke	131
2.5	Effekte von Ausdauertraining auf die freie Aktivität	133
3.	Reversibilität von Trainingseffekten	137
3.1	Reversibilität der Veränderungen der Herzfrequenz	137
3.2	Reversibilität der Veränderungen des Energiestoffwechsels.....	138
3.3	Reversibilität der Veränderungen der Muskeldicke	141
4.	Sauerstoffaufnahme, Energieverbrauch, Aktivität und Futteraufnahme	141
5.	Metaanalyse unter Einbeziehung der Daten von Zollner (2012)	144
VI.	Zusammenfassung.....	155
VII.	Summary	159
VIII.	Literaturverzeichnis	163
IX.	Anhang	191
1.	Abbildungen: Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme.....	191
1.1	Abbildungen: Korrelation von Polar-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme	191
1.2	Abbildungen: Korrelation EKG-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme.....	194
2.	Einzelwerttabellen.....	196
2.1	Körpergewicht.....	196
2.2	Elektrokardiogramm	197
2.3	Respirometrie.....	198
2.4	Aktivität	202
3.	Technische Daten.....	203
3.1	Actical	203
3.2	MetaMax® 3B	203
3.3	Televet100.....	203
3.4	Windmaschine.....	204
4.	Ergebnisse der Analyse vom Statistischen Beratungslabor (StaBLab).....	204
X.	Danksagung.....	207

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ANCOVA	analysis of covariance, Kovarianzanalyse
ANOVA	analysis of variance, Varianzanalyse
ATP	Adenosintriphosphat
BCS	body condition score
BMR	basal metabolic rate, Basalstoffwechsel
bpm	beats per minute, Schläge pro Minute
°C	Grad Celsius
ca.	circa
Ca _{O2}	Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes
Cv _{O2}	Sauerstoffgehalt des gemischten, venösen Blutes
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DEE	daily energy expenditure, Tagesenergieverbrauch
DEXA	dual energy xray absorptiometrie, Dual-Röntgen-Absorptiometrie
d. h.	das heißt
DLW	doubly labelled water, doppelt markiertes Wasser
EE	energy expenditure, Energieverbrauch
ECG	electrocardiography
EKG	Elektrokardiogramm
EPOC	excess post-exercise O ₂ -consumption, Sauerstoffmehraufnahme nach Arbeitsende
etc.	et cetera, und so weiter
exp.	Exponentialfunktion
FBI	Foxhound-Boxer-Ingelheim Labrador
g	Gramm
h	hour, Stunde
HR	heart rate, Herzfrequenz
Hz	Hertz
inkl.	inklusive
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht

KM	Körpermasse
km/h	Kilometer pro Stunde
kW	Kilowatt
M.	Musculus
ME	metabolizable energy, umsetzbare Energie
MER	maintenance energy requirement, Erhaltungsstoffwechsel
MHz	Megahertz
min	Minute
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
mph	miles per hour, Meilen pro Stund
MR	metabolic rate, Leistungsstoffwechsel
ms	Millisekunde
mV	Millivolt
MW	Mittelwert
O ₂	Sauerstoff
ODBA	overall dynamic body acceleration, Gesamtkörperbeschleunigung
PAEE	physical activity energy expenditure, Energieverbrauch durch körperliche Aktivität
PAL	physical activity level, physikalisches Aktivitätslevel
p	Signifikanzniveau
PC	Personal Computer
R	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmass
RMR	resting metabolic rate, Ruhestoffwechsel
RQ	respiratorischer Quotient (VCO ₂ /VO ₂)
StaAbw	Standardabweichung
StaDev	standard deviation
SMR	sleeping metabolic rate, Energieumsatz im Schlaf
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
susMR	sustained metabolic rate, maximale Dauerbelastung des Energiehaushaltes
susMS	sustained metabolic scope, Verhältnis susMR/ RMR

u. a.	unter anderem
uS	ursprüngliche oder Frischsubstanz
v. a.	vor allem
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
VO _{2max}	maximale, aerobe Kapazität
V _s	Schlagvolumen des Herzens
vs.	versus
%	Prozent
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Auswirkung der Umgebungstemperatur [°C] auf den Energieverbrauch, verändert nach NRC (2006).

Abbildung 2: Laufband mit Windmaschine.

Abbildung 3: Zeitplan des Versuchs mit Überblick über Dauer und Reihenfolge der einzelnen Phasen.

Abbildung 4: Ausdauertraining der Hunde paarweise auf dem Laufband. Durch die Sicherungsleinen konnte jeder Hund seine Position frei wählen, ohne den Partner beim Laufen zu stören.

Abbildung 5: Extensives Intervalltraining in der Trainingsphase mit langsamen (blauen Balken) und gleichlangen, schnellen Intervallen (rote Balken) zu Beginn der Trainingsphase.

Abbildung 6: Intensives Intervalltraining in der Trainingsphase mit langen, langsamen (blaue Balken) und kurzen, schnellen Intervallen (rote Balken).

Abbildung 7: Beagle-Hündin „Manjula“ während einer Ruhemessung.

Abbildung 8: Ablauf des Schwellentests. Fünf Minuten Ruhe, jeweils fünf Minuten auf dem Laufband bei 5, 8 und 12 km/h, zehn Minuten Erholung.

Abbildung 9: Ablauf des Stufentests. Jeweils fünf Minuten auf dem Laufband bei 3, 7 und 10 km/h.

Abbildung 10: Ultraschallbild der Messstelle und Muskeldickenmessung des M. supraspinatus; ventral begrenzt von der Scapula (SC), caudal von der Spina scapulae (SP), dorsal von einem Anteil der Fascia profunda.

Abbildung 11: Ultraschallbild der Messstelle und Muskeldickenmessung des M. infraspinatus; ventral begrenzt von der Scapula (SC), cranial von der Spina scapulae (SP), dorsal von einem Anteil der Fascia profunda.

Abbildung 12: Ultraschallbild und Messstelle der Muskeldickenmessung der Muskeln (M. biceps femoris mit Anteilen des M. vastus lateralis) lateral des Femurs (FE).

Abbildung 13: Ultraschallbild und Messstelle der Muskeldickenmessung des M. longissimus dorsi; ventral begrenzt vom Arcus vertebrae (AV), dorsal vom oberen Ende des Processus spinosus (PS).

Abbildung 14: Verlaufskurve der Innentemperatur im Stall bzw. Versuchsraum über den gesamten Versuchszeitraum. Die vertikalen Linien kennzeichnen die Versuchsphasen

(Gewöhnungsphase, „untrainiert I“, Trainingsphase, „trainiert“, trainingsfreie Zeit, „untrainiert II“).

Abbildung 15: Verlaufskurve der Außentemperatur über den gesamten Versuchszeitraum. Die vertikalen Linien kennzeichnen die Versuchsphasen (Gewöhnungsphase, „untrainiert I“, Trainingsphase, „trainiert“, trainingsfreie Zeit, „untrainiert II“).

Abbildung 16: Durchschnittliche Außentemperatur [MW \pm StaAbw] während der einzelnen Messphasen („untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•), „untrainiert II“ (•)).

Abbildung 17: Mittleres Körpergewicht der zehn Versuchshunde [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 18: Durchschnittlicher Body Condition Score der zehn Hunde im Versuchsverlauf.

Abbildung 19: Durchschnittlicher Futtereinsatz (••) und durchschnittliches Körpergewicht (—) der zehn Hunde im Versuchsverlauf.

Abbildung 20: Mittlere Herzfrequenzen in Ruhe von neun Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 21: Mittlere Herzfrequenzen unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 22: Maximale Herzfrequenzen unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 23: Minimale Herzfrequenzen unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 24: Korrelation der vom EKG gemessenen Herzfrequenzen (x; Schläge/Minute) und der vom Polar-Messgerät (y; Schläge/Minute) gemessenen Herzfrequenzen (Zehn-Sekunden-Mittelwerte), die parallel zu den Schwellentests von sieben Hunden im Zustand „untrainiert I“ aufgezeichnet wurden. Regressionsgerade (—) mit Konfidenz- (--) und Vorhersageintervallen (—).

Abbildung 25: Korrelation der vom EKG gemessenen Herzfrequenzen (x; Schläge/Minute) und der vom Polar-Messgerät (y; Schläge/Minute) gemessenen Herzfrequenzen (Zehn-Sekunden-Mittelwerte), die parallel zu den Schwellentests von sieben Hunden im trainierten Zustand aufgezeichnet wurden. Regressionsgerade (—) mit Konfidenz- (--) und Vorhersageintervallen (—).

Abbildung 26: Korrelation der vom EKG gemessenen Herzfrequenzen (x; Schläge/Minute) und der vom Polar-Messgerät (y; Schläge/Minute) gemessenen Herzfrequenzen (Zehn-Sekunden-Mittelwerte), die parallel zu den Schwellentests von sieben Hunden im Zustand

„untrainiert II“ aufgezeichnet wurden. Regressionsgerade (—) mit Konfidenz- (--) und Vorhersageintervallen (—).

Abbildung 27: Zwei-Minuten-Minima der absoluten (A) und relativen (B) Sauerstoffaufnahme in Ruhe von neun Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 28: Zwei-Minuten-Minima der Sauerstoffaufnahme in Ruhe umgerechnet auf die metabolische Körpermasse von neun Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 29: Zwei-Minuten-Mittelwerte der absoluten Sauerstoffaufnahme unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 30: Korrelation zwischen Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und relativer Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg) bei sieben Hunden in allen drei Trainingszuständen. Regressionsgerade (—) mit Vorhersageintervallen (--) für EKG-Messung (▲); Regressionsgerade (—) mit Vorhersageintervallen (··) für Polar-Messung (•).

Abbildung 31: Zwei-Minuten-Mittelwerte der Atemfrequenz unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 32: Zwei-Minuten-Mittelwerte des Atemminutenvolumens unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•).

Abbildung 33: Aktivität der zehn Hunde in den einzelnen Versuchsphasen (Messphase „untrainiert I“, Trainingsphase, Messphase „trainiert“, trainingsfreie Zeit, Messphase „untrainiert II“) [MW \pm StaAbw].

Abbildung 34: Freie Aktivität der zehn Hunde in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur [MW \pm StaAbw].

Abbildung 35: Aktivitäts- (rote Balken) und Temperaturdaten (blaue Linie) während der gesamten Versuchszeit.

Abbildung 36: Vergleich der Zwei-Minuten-Minima der relativen Sauerstoffaufnahme [ml/min/kg] in Ruhe [MW \pm StaAbw] von den insgesamt zehn Hunden der beiden Studien (neun aus der eigenen Studie, zehn aus der Studie von Zollner; 2012) im Zustand „untrainiert I“ (•), „trainiert“ (•) und „untrainiert II“ (•). Die mit dem Symbol „x“ gekennzeichneten Spannweitenlinien stellen die Werte von Zollner (2012) dar.

Abbildung 37: Zeitplan des Versuchs: Gewöhnungsphase, Messphase „untrainiert I“, Trainingsphase, Messphase „trainiert“, trainingsfreie Zeit, Messphase „untrainiert II“. Die freie Aktivität wurde erst ab „untrainiert I“ aufgezeichnet.

Abbildung 38: Relative Sauerstoffaufnahme (y ; ml/min/kg) in Abhängigkeit zur Außentemperatur (x ; °C) in Ruhe während der Trainingszustände „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“. Für die Grafik wurden sieben Hunde aus der eigenen Studie (•) und zehn Hunde (•) aus der Studie von Zollner (2012) berücksichtigt. Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—).

Abbildung 39: Relative Sauerstoffaufnahme (y ; ml/min/kg) in Abhängigkeit zur Außentemperatur (x ; °C) bei der Laufgeschwindigkeit 12 km/h während der Trainingszustände „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“. Für die Grafik wurden sieben Hunde aus der eigenen Studie (•) und zehn Hunde (•) aus der Studie von Zollner (2012) berücksichtigt. Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—).

Abbildung 40: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x ; Schläge/Minute) auf die rel. O_2 -Aufnahme (y ; ml/min/kg) von insgesamt zehn Hunden aus zwei Studien in den Trainingszuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ aufzeigt. Für die Grafik wurden sieben Hunde aus der eigenen Studie (•) und zehn Hunde (•) aus der Studie von Zollner (2012) berücksichtigt.

Abbildung 41: Regressionsgerade (—) mit Vorhersageintervallen (--) die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x ; Schläge/Minute) auf die rel. O_2 -Aufnahme (y_1 ; ml/min/kg) von insgesamt zehn Hunden aus zwei Studien in den Trainingszuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ aufzeigt (•). Die y_2 -Achse gibt rel. O_2 -Aufnahmen (y_2 ; ml/min/kg^{0.75}) umgerechnet für die metabolische Körpermasse an (♦). Regressionsgerade (—) mit Vorhersageintervallen (--).

Abbildung 42: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „untrainiert I“ die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x ; Schläge/Minute) auf die rel. O_2 -Aufnahme (y ; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•); Schwellentest: 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); Stufentest: 3 km/h (•), 7 km/h (•), 10 km/h (•); $N = 45$ (sieben Hunde, jeweils sieben Messungen minus ein fehlender Wert bei jeweils 12, 3, 7 und 10 km/h).

Abbildung 43: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „trainiert“ die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x ; Schläge/Minute) auf die rel. O_2 -Aufnahme (y ; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•); Schwellentest: 5 km/h (•), 8 km/h (•),

12 km/h (•); Stufentest: 3 km/h (•), 7 km/h (•), 10 km/h (•); N = 47 (sieben Hunde, jeweils sieben Messungen minus zwei fehlende Werte bei 10 km/h).

Abbildung 44: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „untrainiert II“ die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•); Schwellentest: 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); Stufentest: 3 km/h (•), 7 km/h (•), 10 km/h (•); N = 46 (sieben Hunde, jeweils sieben Messungen minus ein fehlender Wert bei 7 km/h und zwei bei 10 km/h).

Abbildung 45: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „untrainiert I“ die das Verhältnis der EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•), 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); N = 28 (sieben Hunde, jeweils vier Messungen).

Abbildung 46: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „trainiert“ die das Verhältnis der EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•), 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); N = 28 (sieben Hunde, jeweils vier Messungen).

Abbildung 47: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „untrainiert II“ die das Verhältnis der EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•), 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); N = 28 (sieben Hunde, jeweils vier Messungen).

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Angaben zum Erhaltungsenergiebedarf von Hunden verschiedener Rassen in Abhängigkeit von Alter, Haltung und Aktivität, verändert nach NRC (2006).

Tabelle 2: Energieverbrauch von Hunden während des Stehens und Rennens bei konstanter Belastung auf dem Laufband, verändert nach NRC (2006).

Tabelle 3: Energiebedarf von Hunden verschiedener Rassen bei unterschiedlicher Art von Belastung, verändert nach NRC (2006).

Tabelle 4: Kalorisches Äquivalent und respiratorischer Quotient der Nährstoffe beim Menschen, verändert nach Schmidt et al. (2000).

Tabelle 5: Alter, Gewicht und BCS der Hunde, die das gesamte Versuchsprogramm vollständig absolvierten zu Beginn des Versuchs.

Tabelle 6: Alter, Gewicht, BCS der Hunde, die nicht das gesamte Versuchsprogramm vollständig absolvierten zu Beginn des Versuchs.

Tabelle 7: Inhaltsstoffe der verwendeten Versuchsfutter bei identischem Nährstoffgehalt laut Deklaration des Herstellers.

Tabelle 8: Einzelne Messparameter, Messmethode und Zeitpunkt der Messungen im Versuch.

Tabelle 9: Trainingsplan in der Trainingsphase mit der Häufigkeit der Trainingseinheiten pro Woche und den verschiedenen Trainingsarten. Grundlagentraining (GLT), Intervalltraining (IT)- extensives Intervalltraining (EIT) und intensives Intervalltraining (IIT), Schwellentest (ST).

Tabelle 10: Elektrodenplatzierung für ein Standard-Elektrokardiogramm.

Tabelle 11: Ableitungen nach Einthoven.

Tabelle 12: Temperaturmaxima, -minima sowie Mittelwerte (\pm StaAbw) der Innentemperatur im Stall bzw. Versuchsraum während der drei Messphasen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“.

Tabelle 13: Zwei-Minuten-Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahme und der Sauerstoffaufnahme umgerechnet auf die metabolische Körpermasse unter Belastung von sieben Hunden [$MW \pm$ StaAbw] im Zustand „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“.

Tabelle 14: Minimale Sauerstoffaufnahme [l/min] in Ruhe (RMR) und mittlere Sauerstoffaufnahme [l/min] in Belastung (MR, Schwellentest, 12 km/h) während der drei

Messphasen und Verhältnis von Ruhe- zu Leistungsstoffwechsel (MR/RMR) [MW \pm StaAbw].

Tabelle 15: Korrelation Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und relative O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) von sieben Hunden. Geradengleichung, Korrelationskoeffizient (R) und Bestimmtheitsmaß (R²) der Regressionsgeraden in den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“.

Tabelle 16: Korrelation EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und relative O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) von sieben Hunden. Geradengleichung, Korrelationskoeffizient (R) und Bestimmtheitsmaß (R²) der Regressionsgeraden in den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“.

Tabelle 17: Geradengleichung, Korrelationskoeffizient (R) und Bestimmtheitsmaß (R²) der Korrelationen zwischen der jeweiligen Methode der Herzfrequenzmessung (x; Schläge/Minute) und der relativen Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg).

Tabelle 18: Zwei-Minuten-Minima [MW \pm StaAbw] der Atemfrequenz in Ruhe von neun Hunden in den jeweiligen Messphasen.

Tabelle 19: Zwei-Minuten-Minima [MW \pm StaAbw] des Atemminutenvolumens in Ruhe von neun Hunden in den jeweiligen Messphasen.

Tabelle 20: Muskeldicken [MW \pm StaAbw] von neun Hunden in den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“, „untrainiert II“.

Tabelle 21: Aktivität [Activity counts/Stunde; MW \pm StaAbw] der Werktage Montag bis Freitag der zehn Hunde während des gesamten Versuchszeitraums.

Tabelle 22: Aktivität und Außentemperatur während der verschiedenen Versuchsphasen [MW \pm StaAbw].

Tabelle 23: Hochrechnung der Sauerstoffaufnahme in Ruhe, berechnet über 24 Stunden als Tagesbedarf an Energie in Ruhe [MW \pm StaAbw] von sieben Hunden.

Tabelle 24: Vergleich des Tagesenergiebedarfs in Ruhe [MJ/kg^{0,75}], berechnet aus dem Sauerstoffverbrauch und der Futteraufnahme [MW \pm StaAbw] in den einzelnen Messphasen bzw. Jahreszeiten von sieben Hunden.

Tabelle 25: Untersuchte Parameter der einzelnen Hunde in „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen.

Table 26: Parameters of the individual dogs under the conditions „untrained I“, „trained“ and „untrained II“ at different ambient temperatures.

Tabelle 27: Mittleres Körpergewicht [MW \pm StaAbw] der zehn Versuchshunde.

Tabelle 28: Mittlere Herzfrequenz [MW \pm StaAbw] in Ruhe von neun Hunden in den drei Trainingszuständen.

Tabelle 29: Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenzen [MW \pm StaAbw] unter Belastung (Geschwindigkeiten 5, 8 und 12 km/h) von sieben Hunden in den drei Trainingszuständen.

Tabelle 30: Zwei-Minuten-Minima [MW \pm StaAbw] der relativen Sauerstoffaufnahme und der relativen Sauerstoffaufnahme umgerechnet auf die metabolische KM in Ruhe von neun Hunden in den drei Trainingszuständen.

Tabelle 31: Werte der Polar-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „untrainiert I“ während des Schwellentests, der Ruhemessung und des Stufentests.

Tabelle 32: Werte der Polar-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „trainiert“ während des Schwellentests, der Ruhemessung und des Stufentests.

Tabelle 33: Werte der Polar-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „untrainiert II“ während des Schwellentests, der Ruhemessung und des Stufentests.

Tabelle 34: Werte der EKG-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „untrainiert I“ während des Schwellentests und der Ruhemessung.

Tabelle 35: Werte der EKG-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „trainiert“ während des Schwellentests und der Ruhemessung.

Tabelle 36: Werte der EKG-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „untrainiert II“ während des Schwellentests und der Ruhemessung.

Tabelle 37: Zwei-Minuten-Mittelwerte der Atemfrequenz [MW \pm StaAbw] unter Belastung von sieben Hunden in den drei Trainingszuständen.

Tabelle 38: Zwei-Minuten-Mittelwerte des Atemminutenvolumens [MW \pm StaAbw] unter Belastung von sieben Hunden in den drei Trainingszuständen.

Tabelle 39: Freie Aktivität der zehn Hunde in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur [MW \pm StaAbw].

Tabelle 40: Technische Daten des Acticals.

Tabelle 41: Technische Daten des MetaMax® 3 B-Gerätes.

Tabelle 42: Technische Daten des Televet100.

Tabelle 43: Technische Daten der Windmaschine.

Tabelle 44: Modell für den Sauerstoffverbrauch.

Tabelle 45: Modell für die Herzfrequenz.

I. EINLEITUNG

Als Maß für den Energiebedarf eignet sich der Sauerstoffverbrauch (Green, 2011), der mithilfe der Respirometrie ermittelt werden kann. Bei verschiedenen Gruppen der Wirbeltiere inkl. Fischen und Vögeln wurde eine Korrelation zwischen der Herzfrequenz und dem Sauerstoffverbrauch nachgewiesen (z.B. Mensch: Shvartz und Reibold, 1990; Treuth et al., 1998; Pferd: Coenen, 2010; Rentiere: Nilssen et al., 1984 und andere). Auch bei Hunden konnte dieser Zusammenhang nachgewiesen werden (Foxhoundkreuzungen: Ruoss, 2011; Beagles: Zollner, 2012). Informationen zum Energiemehrbedarf für Arbeitsleistung beim Hund liegen in der Literatur in begrenztem Maße vor (NRC, 2006). Die Angaben zeigen eine große Variabilität und die Methoden zur Ermittlung sind zum Teil ungenau oder aufwändig. Da verschiedene Faktoren im Verdacht stehen, einen Einfluss auf die einzelnen Parameter bzw. die Korrelation zu haben (Training: Eizadi et al., 2011; Art der Arbeit: Nolet et al., 1992; Butler et al., 2000; Temperatur: Huggins et al., 1971), müssen zur Überprüfung der bei Ruoss (2011) und Zollner (2012) ermittelten Korrelationen weitere mögliche Einflussfaktoren überprüft werden, um die mögliche Eignung für eine Abschätzung des Energiemehrbedarfs bei unterschiedlicher Arbeit von Hunden beurteilen zu können.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, den Energiemehrbedarf von aktiven Hunden bei Laufbandarbeit in Abhängigkeit vom Trainingszustand zu analysieren. Zu diesem Zweck wurde ein dreistufiger Versuchsaufbau durchgeführt. In der ersten Stufe sollten aktive Beagles nach einer zehnwöchigen Phase der Gewöhnung an die Messbedingungen in untrainiertem Zustand einer Messung von Atemfrequenz, Atemminutenvolumen, Sauerstoffverbrauch, Herzfrequenz, Dicke ausgewählter Lokomotionsmuskeln und der freien Aktivität unterzogen werden. Nach einem intensiven Laufbandtraining über 16 Wochen sollten in der zweiten Stufe alle Parameter unter möglichst einheitlichen Bedingungen erneut gemessen werden. Anschließend wurde das Training ausgesetzt und wiederum nach zehn Wochen ohne Training der Zustand in der dritten Stufe erneut überprüft.

Durch die Kombination der Daten der vorliegenden Studie und der von Zollner (2012) sollte in einer weiteren Analyse der mögliche Einfluss des Trainingszustandes und der Außentemperatur auf die Zielgrößen Sauerstoffverbrauch und Herzfrequenz überprüft

werden. Dadurch sollte getestet werden, ob der Sauerstoffverbrauch auch unabhängig vom Trainingszustand mithilfe der gemessenen Herzfrequenz vorausgesagt werden kann.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Energiestoffwechsel von Säugetieren

Der Begriff Stoffwechsel bezeichnet im weitesten Sinne die Gesamtheit aller chemischen Reaktionen, die in einem Organismus ablaufen. Jede Aktivität erfordert die Nutzung von Energie (Butler et al., 2004). Die Messung des Energieumsatzes und die Kenntnis, wie viel Energie für bestimmte Aktivitäten notwendig ist, sind von zentraler Wichtigkeit für das Verständnis der Physiologie, des Verhaltens und der Evolution eines Lebewesens (McNamara und Houston, 1996). Die Stoffwechselvorgänge lassen sich in zwei Hauptkategorien untergliedern: Reaktionen, die Energie oder ATP produzieren (Anabolismus) und Reaktionen, die Energie oder ATP nutzen (Katabolismus; Rolfe und Brown, 1997). Im Katabolismus werden Verbindungen, die viel Energie enthalten, abgebaut. Dies ist mit der Freisetzung chemischer Energie verbunden. Ein Teil dieser Energie wird in Form von energiereichen Phosphatverbindungen, wie zum Beispiel ATP, gespeichert, um als Energielieferant für den Zellstoffwechsel verwendet zu werden. Im Anabolismus wird Energie verbraucht, er ist mit Reparaturvorgängen, Regeneration und Wachstum verbunden (Eckert et al., 2002).

1.1 Energiebedarf

Die Stoffwechselrate, also die Rate bei der ein Tier Substrate oxidiert, um Energie zu produzieren, ist in der Ökologie und der Evolution eine grundlegende Maßeinheit (Brown et al., 2004). Der Tagesenergieverbrauch eines Individuums (daily energy expenditure, DEE) ist die Energie, die es im Laufe eines Tages in seiner natürlichen Umgebung verbraucht (Careau et al., 2008). Da die Stoffwechselrate als Reaktion auf verschiedene Faktoren variiert, wurde es nötig, eine Reihe von Bedingungen für ihre Messung zu definieren, um wissenschaftliche Vergleiche zu ermöglichen (Hulbert und Else, 2004) und die praktische Nutzung der Messung zu gewährleisten. Beim Messen der Stoffwechselrate unterscheidet man je nach Aktivitätsgrad der Tiere verschiedene Stoffwechselniveaus oder –zustände:

Der Basalstoffwechsel (basal metabolic rate, BMR) entspricht der konstanten Energieumsatzrate, die ein erwachsenes Tier in körperlicher Ruhe, im postabsorptiven,

nicht reproduzierenden oder wachsenden Zustand während einer inaktiven, circadianen Phase (Schlafphase), in einer thermoneutralen Umwelt aufweist (White und Kearney, 2012; McNab, 1997). Er stellt die minimalen Energiekosten dar, die nötig sind, um am Leben zu bleiben (Hulbert und Else, 2004; Speakman et al., 2004).

Der Ruhestoffwechsel (resting metabolic rate, RMR) ist dagegen eine weniger strenge Messung, da sie die Nichteinhaltung einiger basaler Bedingungen erlaubt, während sie dennoch fordert, dass das Tier in seiner thermoneutralen Zone ruht (Speakman et al., 2004). Sie wird in Ruhe, aber im wachen Zustand gemessen.

Der Gesamtenergiebedarf setzt sich aus der Summe des Bedarfs für Erhaltung und für Leistung (Wachstum, Bewegungsaktivität, Gravidität und Laktation) zusammen (NRC, 2006; Meyer und Zentek, 2005).

Der Erhaltungsenergiebedarf (maintenance energy requirement, MER) wird als die Energie bezeichnet, die erforderlich ist, um über einen längeren Zeitraum ein Energiegleichgewicht zwischen der Aufnahme an umsetzbarer Energie und der Oxidationswärme herzustellen (Blaxter, 1989). Er berücksichtigt die Energie, die für Thermoregulation, spontane Aktivität und moderates Training benötigt wird.

Das NRC (2006) gibt für den Erhaltungsbedarf an Umsetzbarer Energie (ME) in Megajoule (MJ) pro kg metabolischer KM folgende Formel an:

$$ME = 0,554 \text{ MJ} \times KM^{0,75} [\text{MJ/kg}]$$

Unter gleichen Haltungsbedingungen ist bei den Tieren dennoch eine individuelle Variation des Bedarfs möglich (NRC, 2006). Auch bei den einzelnen Rassen kann der Bedarf stark schwanken. Der Energiebedarf korreliert mit dem Körpergewicht nicht immer linear, er steht in Beziehung zu einer Potenzfunktion des Körpergewichtes, wie metabolisches Körpergewicht oder Körperoberfläche (Hand et al., 2002). Bedeutungsvoll ist das vor allem für den Hund, der ein besonders breites Spektrum an Körperformen und Größen aufweist, vom ein kg-Chihuahua bis zum 90 kg-Neufundländer und Bernhardiner (Schuler, 1980). Diese Variation ist einzigartig bei domestizierten Tieren, da die Varianz ein Hundertfaches betragen kann (Burger und Johnson, 1991). Hunde verschiedener Rassen unterscheiden sich unabhängig von ihrer Größe in deren Energiebedarf (siehe Tabelle 1). Einfluss auf den Erhaltungsbedarf besitzen vielmehr der Rasstyp (Statur,

Haarkleid, Muskulatur- und Fettanteil) und das Temperament des Tieres (Burger und Johnson, 1991; Rainbird und Kienzle, 1990).

Tabelle 1: Angaben zum Erhaltungsenergiebedarf von Hunden verschiedener Rassen in Abhängigkeit von Alter, Haltung und Aktivität, verändert nach NRC (2006).

Rasse, Alter (Jahre), Haltung, Aktivität	ME [kcal ME kg KM ^{-0,75}] Mittelwert ± 2 StaAbw. ^a	n	Quelle
Großwüchsige Haushunde	94 ± 50		(Patil & Bisby 2001)
Haushunde	95 ± 40	28	(Wichert et al. 1999)
Inaktive Border Collies (Haushunde)	97 ± 82	9	(Burger 1994)
Alte Labrador Retriever (Laborhunde, 9)	103 ± 22	6	(Finke 1991)
Alte Labrador Retriever (Laborhunde, >7)	104 ± 32	14	(Rainbird & Kienzle 1990)
Haushunde	105 (Bereich 60-200)	48	(Connor et al. 2000)
Adulte Neufundländer (Laborhunde, 3-7)	106 ± 26	26	(Rainbird & Kienzle 1990)
Alte Laborhunde verschiedener Rassen (>8)	107 ± 14	11	(Taylor et al. 1995)
Alte Beagles (Laborhunde, >10)	110 ± 26	5	(Finke 1994)
Adulte Beagles (Laborhunde, 3-10)	114 ± 16	8	(Finke 1994)
Adulte Beagles (Laborhunde, 4)	117 ± 18	6	(Finke 1991)
Adulte Laborhunde (3-7)	124 ± 42	86	(Rainbird & Kienzle 1990)
Moderat aktive Border Collies (Haushunde)	124 ± 88	28	(Burger 1994)
Junge Laborhunde verschiedener Rassen (<6)	129 ± 10	12	(Taylor et al. 1995)
Junge bis adulte Huskies (Laborhunde, 1-7)	132 ± 20	5	(Finke 1991)
Beagles (Laborhunde)	132 ± 40		(Patil & Bisby 2001)
Mittelgroße Haushunde aus verschiedenen Haushalten	132 ± 52		(Patil & Bisby 2001)
Labrador Retriever (Laborhunde)	138 ± 32		(Patil & Bisby 2001)
Junge Laborhunde (1-2)	139 ± 42	69	(Rainbird & Kienzle 1990)
Junge Beagles (Laborhunde, 1-2)	144 ± 28	6	(Finke 1994)
Sehr aktive Border Collies	175 ± 170	10	(Burger 1994)
Terrier (Laborhunde)	183 ± 48		(Patil & Bisby 2001)
Doggen, Außengehege, Sommer	Ca. 200	7	(Zentek & Meyer 1992)
Doggen, Außengehege, Winter	Ca. 250	7	(Zentek & Meyer 1992)

^a95 Prozent der Population liegen innerhalb dieses Bereichs.

Die Thermoregulation hat einen Einfluss auf den Erhaltungsbedarf. Bei einer niedrigen Umgebungstemperatur erhöhen warmblütige Tiere wie der Hund die Wärmeproduktion um ihre Körpertemperatur zu halten. Die Umgebungstemperatur, bei der ein Anstieg der Wärmeproduktion beginnt wird untere kritische Temperatur genannt. Sie scheint bei Tieren je nach Dicke des Fells zu variieren (Scholander et al., 1950). Auch

Abkühlungsmechanismen erfordern Energie. Die Temperatur, ab der der Energieverbrauch ansteigt, ist die obere kritische Temperatur (NRC, 2006). Der Temperaturbereich, bei dem die normale Körpertemperatur ohne einen Anstieg des Grundumsatzes beibehalten wird, wird thermoneutrale Zone genannt. Er liegt für die meisten Hunde zwischen 23 - 25°C (bei langhaarigen Hunden 15 - 20°C, bei kurzhaarigen Hunden 20 - 25°C; NRC, 2006). Liegt die Außentemperatur also außerhalb dieses Bereiches, muss Energie für die Thermoregulation aufgebracht werden (Abbildung 1).

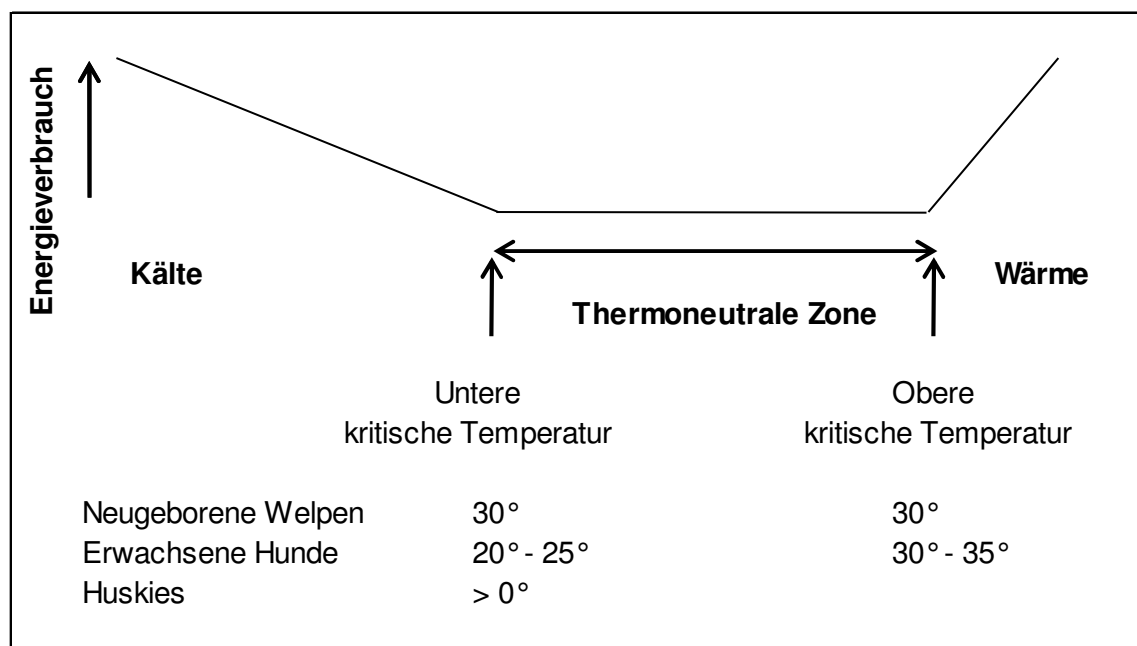


Abbildung 1: Auswirkung der Umgebungstemperatur [°C] auf den Energieverbrauch, verändert nach NRC (2006).

Es kann daher im Jahresverlauf ein saisonaler Einfluss auf den Energiebedarf von Hunden festgestellt werden (Finke, 1991; Zentek und Meyer, 1992).

Alter, Temperament, Haltung und Kondition des Hundes müssen als weitere individuelle Einflussfaktoren bei der Bedarfskalkulation berücksichtigt werden (Rainbird und Kienzle, 1990; Hedhammer, 1996; NRC, 2006). Der Erhaltungsenergiebedarf von Sibirian Huskies änderte sich zum Beispiel bei einem Abfall der Umgebungstemperatur von 20 auf 0°C nicht signifikant, während die Kalorienaufnahme von Beagles und Labrador Retrievern um 20 bis 25 % anstieg (Finke, 1991).

1.2 Ruhestoffwechsel

Die Unterschiede zwischen dem Basal- und dem Ruhestoffwechsel beziehen sich auf die Laborbedingungen, unter denen der Sauerstoffverbrauch oder die Kohlendioxidproduktion eines Individuums mittels Respirometrie gemessen wurden (Careau et al., 2008). Die RMR wird in wachem Zustand, die BMR dagegen im Schlaf, gemessen. Da der Unterschied zwischen beiden Stoffwechselraten im Allgemeinen sehr gering ist, werden die zwei Begriffe in der Literatur oft austauschbar verwendet (Careau et al., 2008). Bei Tieren wird in der Regel die unter weniger restriktiven Bedingungen gemessene RMR verwendet, da die Messung leichter durchzuführen ist.

Der tägliche Energieverbrauch setzt sich zusammen aus der RMR, dem Energiebedarf für körperliche Aktivität (physical activity-induced energy expenditure, PAEE) und der kalorigen Wirkung von Nahrung (Corby et al., 2007). Der größte Anteil davon ist die RMR mit 60 bis 70 % des DEE (Broeder et al., 1992; Corby et al., 2007; Black et al., 1996). Bei frei lebenden Tieren macht die RMR dagegen nur 32 % des DEE aus (Ricklefs et al., 1996; Speakman und Selman, 2003). Bislang wurde die RMR bei über 600 Säugetieren und 300 Vogelarten gemessen (McNab, 2002; White und Seymour, 2004; Speakman, 2005). Die Körpermasse ist der Hauptfaktor, der die artenübergreifende Variabilität der RMR erklärt. Sie macht bis zu 95 % der Variabilität aus (McNab, 2002; Lovegrove, 2003). Vergleichende Studien zeigten, dass Einflüsse wie phylogenetische Verwandtschaft, Klima, Temperatur, Ergiebigkeit des Lebensraums und Ernährung einige der verbliebenen 5 % ausmachen (McNab, 2002; Lovegrove, 2003; Careau et al., 2007). Die RMR kann innerhalb von Arten, Populationen und Individuen variieren (White und Kearney, 2012) und weist Erblichkeitswerte zwischen 10 bis 40 % auf (Dohm et al., 2001). Eine beträchtliche individuelle Variation der RMR beruht auf der unterschiedlichen Körpergröße und –zusammensetzung, und hierbei speziell der fettfreien Körpermasse (fat-free mass, FFM), welche laut Speakman und Selman (2003) 50 bis 70 % der Variation ausmacht. Weitere Faktoren, die die RMR beeinflussen, sind die Körperfettmasse, das Alter und das Geschlecht von Individuen (Tataranni und Ravussin, 1995).

1.3 Leistungsstoffwechsel

Ein artgerechter Nährstoffbedarf von Hunden richtet sich nach dem Energiebedarf im Erhaltungsstoffwechsel. Zusätzlicher Energiebedarf ergibt sich für Thermoregulation,

Verdauung, Wachstum, Trächtigkeit, Laktation, Krankheit und Arbeit. Für die Energiebilanz eines Tieres sind nicht nur Ruhewerte von Belang, sondern der tatsächliche Energiebedarf über einen längeren Zeitraum, einschließlich des zusätzlichen Energiebedarfs für Aktivität. Bezogen auf einen Tag spricht man vom DEE. Der Anteil an Energie für körperliche Aktivität ist die variabelste Komponente des DEE. Er wird begrenzt durch die „sustained metabolic rate“ (susMR), also jene Stoffwechselrate, die unter Belastung über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden kann (Peterson et al., 1990; Westerterp, 2001). Maximale Stoffwechselraten, die unter verschiedenen Gegebenheiten erreicht werden, können in folgende Kategorien eingeteilt werden: Kurze Belastungen wie Sprints, längere Belastungen bei maximaler, aerober Kapazität (VO_{2max}) (Suarez, 1996) und Aktivitäten, die im anaeroben Bereich durchgehalten werden können. Es ist bekannt, dass es eine negative Korrelation gibt zwischen dem Energieverbrauch und der Dauer einer Aktivität, die ein Organismus ausübt (Speakman, 2000; Weiner, 1989). Je kürzer die Belastung ist, desto höher ist die Leistung, die erbracht werden kann (Peterson et al., 1990). Diese Stoffwechselraten können jedoch nicht unbegrenzt aufrechterhalten werden, da sich die Organismen während der Ausübung in einer negativen Energiebilanz befinden (Hammond und Diamond, 1997). Die susMR wird als die höchste Stoffwechselrate pro Zeit bezeichnet, bei der über einen längeren Zeitraum (Tage oder Wochen) eine Energiebalance über die Nahrungsaufnahme erreicht wird. Sie beträgt ein Mehrfaches der RMR. Das Verhältnis von susMR und RMR ergibt die „sustained metabolic scope“ (susMS). Daten von 37 Spezies ergaben, dass die meisten Werte der susMS zwischen dem 1,5 und 5-fachen lagen, die höchsten Werte erreichten das 7-fache des Ruhestoffwechsels (Peterson et al., 1990). Gerth et al. (2009b) untersuchten den susMS von arbeitenden Schlittenhunden. Der Energieumsatz von arbeitenden Hunden im Winter betrug das 7,9-fache des Energieumsatzes von ruhenden Hunden in der gleichen Jahreszeit und das 12,2-fache des Grundumsatzes.

Der Stoffwechsel von Hunden unter körperlicher Belastung erfordert einen Mehrbedarf an Energie. Dieser variiert auch mit der Art der körperlichen Betätigung (Tabelle 2 und Tabelle 3).

Tabelle 2: Energieverbrauch von Hunden während des Stehens und Rennens bei konstanter Belastung auf dem Laufband, verändert nach NRC (2006).

Rasse	n	KM [kg]	Mittelwert od. -punkt ^a	Stehen	Rennen		Geschwindigkeit [km h ⁻¹]	Quelle
				[kcal kg KM ^{-0,75} h ⁻¹]	[kcal kg KM ⁻¹ km ⁻¹]	[kcal kg KM ^{-0,75} km ⁻¹]		
Mischlinge	1	2,6	2,6	3,6	1,6	2,1	1,5-10	(Taylor et al. 1970)
Hunde	2		4,4	4,1	1,9	1,3 ^b	2-20	(Taylor et al. 1982)
Beagles ♂	6	8,8-12,5	10,6	2,4	1,0	1,7 ^b	6	(Young et al. 1959)
Mischlinge ♂	3	6,7-17,3	12,8	2,5	0,9	1,6	3-6	(Raab et al. 1976)
Mischlinge	1	18	18	3,1	0,8	1,7	1,5-10	(Taylor et al. 1970)
Hunde			21	1,5	1,1	2,3 ^b		(Taylor et al. 1982)
Foxhounds ♀	10	21,8 ± 1,4	21,8	4,7	1,4	3,1 ^b	4,8-6,4	(Ordway et al. 1984)
Mischlinge	5	19-29	24	1,9	0,9	2,0 ^b	4-16	(Ordway et al. 1984)
Wolf	2		23,1	2,2	1,1	2,4 ^b	2-18	(Taylor et al. 1982)

^aEin Mittelwert ist angegeben, wenn dieser bekannt ist, ansonsten wurde der Mittelpunkt zwischen Maximum und Minimum angegeben.

^bWerte sind ungefähr, da sie aus dem Mittelwert oder Mittelpunkt mit dem Exponenten 0,75 berechnet wurden.

Tabelle 3: Energiebedarf von Hunden verschiedener Rassen bei unterschiedlicher Art von Belastung, verändert nach NRC (2006).

Rasse	M/W	Training	n	KM (kg)	Alter (Jahre (c))	Temperatur	Art der Belastung	Methode	Täglicher Energieverbrauch (kcal)	Täglicher Energieverbrauch (kcal kg ^{-0,75})	Quelle
Alaska Schlittenhunde	M,W	ja	18	23 +/- 6	1-4	-10 bis -35	Schlittenhunderennen über 470 km in 70h bei 7 km/h	DLW	1260 +/- 2820	1052 +/- 192	(Hinchcliff et.al. 1997)
		ja	4			-10 bis -35	Haltung in Ausläufen	ME	10660		
		nein	6			20	Haltung in Ausläufen	DLW	2510 +/- 1625	263 +/- 96	
								ME		130 +/- 29	
Alaskan Huskies		ja	19				634 km in 8 Tagen	DLW	4014 +/- 3084	438*	(Decombaz et.al. 1995)
Schlittenhunde	M	ja	8	39-43	0,7-9	-8	schwere Last über Eis ziehen	ME	2089 +/- 438	228*	
							32 km/d	ME	4368	270 +/- 17	(Ort 1966)
			7	35-38		antarktisch	angekettet an 2m langen Ketten		2184	145 +/- 7	
Alaskan Husky-Mischlinge		ja		20-25		-12 bis 2	10 km/d		4000-5000	440	(Kronfeld et.al. 1977)
Kelpie	M	ja	1	17		-4 bis 7	6 km/d		2000-2500	220	
							Schäferhund arbeitete an 2 Nachmittagen in 8 Tagen, 40 min Auslauf täglich und kurze Spaziergänge	DLW	1426	167	(Frankel et.al. 1994)
								ME	1257	147	
Border Collies			10				Hoch: 3-6 Stunden	ME		174 +/- 179	(Burger 1994)
			28				Moderat: 1-3 h			124 +/- 89	
			9				Gering <1h			97 +/- 82	
Border Collies	M,W	ja	31	17 +/- 6	1-12		Ausläufe, täglich 15 min bis 3h Arbeit auf Schaffarm	ME	1640 +/- 2190	138-184	(Downs et.al.)
Border Collies-Haushunde			7				3-6 h/d	ME		177 +/- 132	(Butterwick et.al. 1998)
			28				1-3 h/d			108 +/- 51	
			5				<1h/d			120 +/- 59	
			11				3-6 h/d			174 +/- 118	
			10				1-3 h/d			184 +/- 40	
			7				<1h/d			143 +/- 64	
Labrador Retriever	W	ja	6	23-20	5-11		Beheizte Zwinger mit Auslauf, 10 min Spaziergang tägl. Aber Gewichtszunahme 2kg KM	ME	1120-1440	93-121*	(Downs et.al.)
Greyhounds	M,W	ja	7	34 +/- 4	1-3	11-25	3 m2-Zwinger, 900m2 Auslauf für 30min tägl; 500 m-Rennen zweimal wöchentlich	ME	2160 +/- 330	155 +/- 18	(Hill et.al. 2000)
Greyhounds	M,W	ja	8	32 +/- 6	2-4		wie oben	ME	2070 +/- 720	152 +/- 46	(Hill et.al. 2001)
ad libitum	M,W	ja	9	30 +/- 7	2-5		wie oben	ME			(Hill et.al. 1999)
-begrenzt				28 +/- 6						155 +/- 34	
										137 +/- 22	
Beagles	W	ja	10	12,3	1-3		200 km pro Woche bei 15% Steigung	Energie	1530 +/- 600	233 +/- 92*	(Arokoski et.al. 1993)
		nein	10				1m2-Zwinger		1030 +/- 450	156 +/- 450*	
			2	17,11	8		3 m2-Zwinger mit Auslauf	DLW	874	122	(Balleve et.al. 1994)
								ME	784	109	
Grönlandhunde	M		6								
-Sommer		nein		33,7 +/- 2,7	7-11		angekettet	DLW	1587	113*	
-Winter				33,2 +/- 3,0	-23		angekettet	DLW	2742	198*	
							60-80 km Schlitten ziehen, 8 h tägl., 9 km/h, 2-3 Tage lang	DLW	62180	443*	
Jagdhunde		ja	8	27,6-14,3	6		Tägl. 3 h Rennen und Jagen in lockerem Schnee	DLW	1719-3964		(Ahlstrom et.al. 2010)
Verschiedene Rassen				11,6-33	1,5-12	18-20	In Ruhe	C-BT ¹³	115 +/- 35		(Larsson et.al. 2010)
					8-20	3 h Rennen			209 +/- 71		

C-BT¹³ C-Bicabonat Tracer, DLW doubly labeledle Methode, ME metabolisierbare Energie

* Abschätzung wurde anhand des publizierten Mittelwertes der KM berechnet und ist daher ungefähr

Der Energieverbrauch, um über raues Terrain zu laufen, ist viel höher als der, der benötigt wird, um auf einer glatten Oberfläche- wie einem Laufband zu laufen (NRC, 2006). Auch die Energie, die zum Schwimmen benötigt wird, scheint sehr hoch zu sein, vor allem bei Hunden mit einer breiten Brust (NRC, 2006).

Bei höherer Aktivität von Hunden, wie sie beispielsweise auch in Gruppenhaltung vorkommt (Hubrecht, 1993), kann ein Energiezuschlag um bis zu 30 % benötigt werden (Meyer und Zentek, 2005).

1.4 Messung des Energiebedarfs

1.4.1 Herzfrequenzmessung

Die Genauigkeit und Zweckmäßigkeit der Herzfrequenzmessung als Methode zur Bestimmung des Energiebedarfs wurde bereits in mehreren Studien und bei mindestens 60 Arten von Säugetieren (Butler et al., 1992; Nilssen et al., 1984; Berhan et al., 2006), Vögeln (Bevan et al., 1995; Steiger et al., 2009; Nolet et al., 1992) und Reptilien (Clark et al., 2006) gezeigt. Die Herzfrequenz steht in einem physiologischen Zusammenhang mit dem Sauerstoffverbrauch (VO_2) und damit dem Energieverbrauch, wie die Fick'sche Gleichung veranschaulicht (Green, 2011):

Fick'sche (1870) Strömungsgleichung für das kardiovaskuläre System:

$$\text{VO}_2 = \text{HR} \times V_S (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2)$$

VO_2	Sauerstoffverbrauch [ml/Minute]
HR	Herzfrequenz [Schläge/Minute]
V_S	Schlagvolumen des Herzens [ml]
CaO_2	Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes [Vol.-%]
CvO_2	Sauerstoffgehalt des gemischten, venösen Blutes [Vol.-%]

Diese Methode zur Messung des Energiebedarfs beruht auf der Prämisse, dass eine Hauptkomponente der Antwort des kardiovaskulären Systems auf einen höheren Sauerstoffbedarf die Veränderung der Herzfrequenz ist (Butler et al., 2004). Wenn man davon ausgeht, dass der Sauerstoffpuls $V_S (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2)$ [ml O_2 / Herzschlag] konstant bleibt oder systematisch variiert, ist es möglich, eine einfache, lineare Beziehung zwischen VO_2 und HR aufzuzeigen, und folglich den Sauerstoffverbrauch aus der Herzfrequenz abzuschätzen (Butler et al., 1993).

Die Methode der Herzfrequenzmessung ist relativ günstig, einfach zu benutzen und nicht invasiv (Zhusheng et al., 2012). Aber der Nutzen der Herzfrequenzmessung zur Bestimmung des Energieverbrauches hat Einschränkungen (Froget, 2001). Der Erfolg dieser Technik hängt von der Stabilität des Verhältnisses zwischen der Herzfrequenz und dem Sauerstoffverbrauch ab. Idealerweise benötigt die Methode für jede überprüfte

Spezies eine Kalibration (Froget et al., 2001). Es wurden einige Variablen gefunden, die Auswirkungen auf das Verhältnis zwischen HR und VO_2 haben, wie zum Beispiel das Geschlecht (Green et al., 2001), die Körpermasse (Green, 2011), Stress (Blix et al., 1974), jahreszeitliche Schwankungen (Nilssen et al., 1984) und die Art der Aktivität (z.B. Schwimmen, Laufen und bei Vögeln Fliegen; Nolet et al., 1992). Idealerweise ist eine Gültigkeitsprüfung zu unterschiedlichen Jahreszeiten (Flynn und Gessaman, 1979) unter verschiedenen sozialen Bedingungen (Holter et al., 1976) für beide Geschlechter und für alle Arten von Aktivitäten (Woakes und Butler, 1983) erforderlich, damit geeignete Korrekturen vorgenommen werden können (Green et al., 2002). Die Anwendung dieser Methode erfordert also eine Spezies-spezifische bzw. Rasse-spezifische Kalibration (Green et al., 2009) für die Beziehung zwischen HR und VO_2 unter kontrollierten Bedingungen.

1.4.2 Indirekte Kalorimetrie (Respirometrie)

Die indirekte Kalorimetrie ist die Messung des Austausches von Atemgasen, um die Stoffwechselrate eines Organismus zu bestimmen (Melanson et al., 2010). Sie ist eine validierte Methode zur Messung des Energiestoffwechsels und wurde bereits in Studien zur Abschätzung des Energiebedarfs von Hunden verwendet (Speakman et al., 2001; Gerth et al., 2009b; Ruoss, 2011; Zollner, 2012).

Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte Energie, die im Körper durch Oxidation der Nährstoffe entsteht, in Wärme umgewandelt wird. Im Gegensatz zur direkten Kalorimetrie wird bei der indirekten Kalorimetrie nicht die von einem Lebewesen abgegebene Wärmemenge gemessen, sondern anhand der Sauerstoffaufnahme indirekt auf den Energieumsatz geschlossen (Schmidt et al., 2000). Die Energie, die pro Liter verbrauchten Sauerstoffs bei der Umsetzung verschiedener Nährstoffe (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße) im Körper frei wird, wird als kalorisches Äquivalent bezeichnet. Es wird als Quotient aus Energieumsatz pro mol und verbrauchtem Sauerstoff pro mol ermittelt, angegeben in kJ/l O_2 . Da nicht bekannt ist, welche Nährstoffe im Körper verbrannt werden, wird bei Menschen bei Mischkost mit einem Mittelwert von ca. 20 kJ (4,8 kcal)/l O_2 gerechnet-beim Verbrauch von 1 l O_2 wird bei Mischkost eine Energiemenge von 20 kJ freigesetzt. Mithilfe des kalorischen Äquivalents und des Sauerstoffverbrauchs (gemessen über indirekte Kalorimetrie) lässt sich der Energieumsatz bestimmen. Er berechnet sich als Produkt aus Sauerstoffaufnahme pro Zeit multipliziert mit dem kalorischen Äquivalent

(Huppelsberg und Walter, 2013). Den zu einem bestimmten Zeitpunkt vorherrschend verstoffwechselten Nährstoff kann man anhand des respiratorischen Quotienten (RQ) ermitteln. Der RQ wird als das Verhältnis des pro Zeiteinheit abgegebenen Kohlendioxidvolumens zum aufgenommenen Sauerstoffvolumen definiert (McClave et al., 2003). Unter stabilen Bedingungen (steady state) hängt der RQ vom metabolisierten Substrat der Energiegewinnung ab und kann daher unter definierten Bedingungen zum Abschätzen des Anteils der Fett- oder Kohlenhydratverwertung verwendet werden. Der RQ beträgt bei Kohlenhydraten eins, bei Fetten 0,7 und bei Proteinen 0,8 (NRC, 2006). Bei Kenntnis des RQ lässt sich ein genauerer Wert für das Energieäquivalent ansetzen, als es dem durchschnittlichen RQ von 0,82 (~ 20 kJ/l O_2) entspricht (Tabelle 4). Änderungen des Energieäquivalents in Abhängigkeit vom RQ sind nicht besonders groß, so dass der durch den Einsatz des mittleren Energieäquivalents auftretende Fehler höchstens ± 4 % beträgt (Schmidt et al., 2000).

Tabelle 4: Kalorisches Äquivalent und respiratorischer Quotient der Nährstoffe beim Menschen, verändert nach Schmidt et al. (2000).

Nährstoff	Kalisches Äquivalent von O_2 [kJ/l O_2]	Respiratorischer Quotient (RQ)
Kohlenhydrate	21,1	1
Eiweiß	18,8	0,81
Fette	19,6	0,7
Mischkost	20	0,82

Unter den meisten Umständen stellt die direkte Oxidation den Hauptweg dar, durch den ein Substrat aus seinem metabolischen Pool verschwindet. Unter Bedingungen, bei denen die Rate der Glukoneogenese, der Ketogenese oder Lipogenese erhöht ist, gilt die angenommene Äquivalenz zwischen Oxidation und dem Verschwinden des Substrates nicht mehr (Simonson und DeFronzo, 1990). Eine Limitation der Methodik der indirekten Kalorimetrie besteht folglich im anaeroben Stoffwechsel. Dieser spielt beim Menschen u. a. im Anschluss an Training eine Rolle: Nach körperlicher Belastung bleibt der Sauerstoffverbrauch für einige Zeit über den Ruhebedarf hinaus erhöht. Diese Sauerstoffmehraufnahme nach Arbeitsende (EPOC, excess post exercise O_2 consumption) beinhaltet die klassische Sauerstoffschuld oder schnelle EPOC Komponente (< 1 h nach

dem Training). In der frühen Erholungsphase sind die Ventilation und die Herzfrequenz erhöht (Bahr und Sejersted, 1991). Verschiedene Prozesse laufen ab, um einen Gleichgewichtszustand wieder herzustellen, beispielsweise das Auffüllen der O₂-Speicher in Blut (Hämoglobin) und Muskulatur (Myoglobin), die Wiederherstellung von Adenosintriphosphaten und Kreatinphosphaten, und die Entfernung von gebildetem Laktat (Bangsbo et al., 1990; Gaesser und Brooks, 1984; Sejersted und Vaage, 1987) über Glukoneogenese. Hunde bilden jedoch während submaximaler Belastung nicht mehr als 10 mmol/l Laktat im venösen Blut, daher kann die Energiebereitstellung aus Laktat vernachlässigt werden (NRC, 2006). Taylor et al. (1982) verwendeten bei Hunden ein kalorisches Äquivalent von 20,1 kJ (4,8 kcal)/l O₂, mit der Begründung, dass der Beitrag der anaeroben Glykolyse unter den gegebenen Versuchsbedingungen zu vernachlässigen war.

Weitere Einschränkungen der indirekten Kalorimetrie bestehen darin, dass die Messausrüstung teuer ist und die Messungen nicht in der natürlichen Umgebung des zu Messenden (Luke et al., 1997), sondern unter stationären Bedingungen stattfinden. Trotz sorgfältiger Gewöhnung führte die zur Ausrüstung gehörende Atemmaske bei den Hunden aus dem Versuch von Ruoss (2011) zu einer sinkenden Bereitschaft, bei höheren Geschwindigkeiten auf dem Laufband zu laufen.

Dennoch gibt die Technik Auskunft über die Energetik von Tieren, ist nicht invasiv und kann mit anderen experimentellen Methoden kombiniert werden (Ferrannini, 1988).

1.4.3 Aktivitätsmessung

Die Aktivität von Tieren wird von Bewegung bestimmt. Dafür verantwortlich sind Muskelkontraktionen, die Energie verbrauchen (King et al., 2004; Caspersen et al., 1985). Weiter gefasst wird körperliche Aktivität definiert als „alle Körperaktionen, die durch eine Kontraktion des Skelettmuskels erfolgen und den Energieverbrauch über das basale Niveau erhöhen“ (Butte et al., 2012). Jede Bewegung erfordert das Beschleunigen und das Abbremsen des Körpers (Montoye et al., 1983). Folglich ist die genaue Messung der Beschleunigung ein guter Maßstab für den Energieaufwand eines Tieres in Bewegung (Halsey et al., 2009). Diese wird als gesamte dynamische Beschleunigung des Körpers (overall dynamic body acceleration, ODBA) bezeichnet und wird durch die Bewegung von Körperteilen verursacht (Wilson et al., 2006). Da die Energie, die bei der Fortbewegung aufgewandt wird, einen beachtlichen Anteil des Energiehaushaltes von Säugetieren und

Vögeln darstellt (Weibel und Hoppeler, 2005; Garland Jr., 1983; Bennett, 1985) ermöglicht die OBDA eine gute Schätzung des Energieverbrauchs. Jedoch verbringen Tiere auch viel Zeit inaktiv und verwenden dafür dennoch eine unterschiedliche Menge an Energie. Green et al. (2009) testeten an domestizierten Hühnern die Nützlichkeit der dynamischen Beschleunigung, um den Energieverbrauch während relativ statischer Aktivitäten, wie etwa bei der Nahrungsaufnahme oder der Thermoregulation, abzuschätzen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Körperbeschleunigung, auch wenn die Tiere relativ inaktiv sind, zur Beurteilung des Energieverbrauchs verwendet werden kann. Um die körperliche Aktivität mit möglichst wenig Unbehagen für die Tiere und unter deren täglichen Lebensbedingungen zu messen, benötigt man eine nicht invasive Methode. Gleichzeitig sollten die Daten objektiv erhoben werden. Lange Zeit waren Beobachtungstechniken die einzige verlässliche Methode, um einen Eindruck von der Aktivität von Versuchsobjekten zu erlangen. Diese Herangehensweise ist jedoch teuer, beeinflusst von dem subjektiven Urteil des Beobachters und nicht praktikabel für die Untersuchung größerer Gruppen (Meijer et al., 1991b).

Der Einsatz von am Körper getragenen Accelerometern ist für diesen Zweck eine vielversprechende Methode (Bouten et al., 1997). Accelerometer werden eingesetzt, um die körperliche Aktivität in ein bis drei Ebenen zu messen. Dreiaxiale Bewegungssensoren messen die Bewegung in drei Ebenen (Preston et al., 2012). Die nicht invasiven, leichten Geräte liefern Frequenz, Dauer und Intensität aller Aktivitäten. Zudem besitzen sie genügend Sensibilität, um auch geringe Bewegung während des Sitzens und Stehens zu erkennen (Westerterp, 2009).

Validitätsstudien ergaben bei Erwachsenen eine moderate bis starke Korrelation ($R = 0,45$ bis $0,93$) zwischen den Accelerometerzählpunkten und dem Sauerstoffverbrauch (VO_2), je nach Aktivität der Personen und verwendetem Accelerometer (Troost et al., 2005). Meijer et al. (1989) berichten bei Untersuchungen mit Menschen von einer Korrelation von $R = 0,99$ zwischen der Anzahl der vom Accelerometer aufgezeichneten Zählimpulse und der Energieaufnahme. Laut Eston et al. (1998) berechnen dreiaxiale Accelerometer den Energieverbrauch während verschiedener Aktivitäten von Kindern mit hoher Genauigkeit und stehen im Zusammenhang mit der Energieaufnahme ($R^2 = 0,83$).

Auch in der Veterinärmedizin bietet das Messen der Aktivität von Hunden mittels Accelerometer Vorteile, und wurde bereits in den beiden Vorgängerstudien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) erfolgreich angewandt. Die Möglichkeit, die durchschnittliche, tägliche

Bewegung zu messen, würde zu einem verbesserten Verständnis des Zusammenhangs körperlicher Aktivität und Adipositas bei Hunden führen (Yam et al., 2011). Bestimmte Bedingungen beeinflussen die tägliche Aktivität eines Hundes. Chronische Beschwerden, wie Herzerkrankungen oder Osteoarthritis beeinträchtigen die Mobilität. Diese objektive Methode, um die Aktivität von Hunden in ihrer natürlichen Umgebung quantitativ zu bestimmen, wäre ein nützliches Hilfsmittel, um das Fortschreiten einer Krankheit oder die Effektivität einer Behandlung zu überwachen (Dow et al., 2009; Knazovicky et al., 2015).

2. Effekte von Ausdauertraining

Ausdauertraining verfolgt das Ziel, über einen längeren Zeitraum konstant Leistung zu erbringen, ohne zu ermüden. Es wird definiert als jede regelmäßig ausgeführte, aerobe Aktivität, bei der große Muskelgruppen ausreichend lang und intensiv genutzt werden, um das Herz-Kreislaufsystem (Pollock, 1973) und die Skelettmuskulatur zu trainieren. Außerdem deutet Ausdauer auf die Fähigkeit hin, sich nach physischen Belastungen schnell wieder zu erholen. Nach einigen Wochen aeroben Trainings werden beim Menschen typischerweise sowohl ein Anstieg der maximalen Arbeitsbelastung als auch eine erhöhte Ausdauer beobachtet (Neufer, 1989). Aufgrund seiner hohen aeroben Kapazität und oxidativen Enzymaktivität wurde der Hund in den letzten Jahrzehnten ein wichtiges Forschungsobjekt (Kronfeld et al., 1994). Die Beliebtheit von Hundesport führte zu einer steigenden Anzahl wissenschaftlicher Berichte über die systemischen Veränderungen während des Trainings und die Zeit, die benötigt wird, um nach dem Training wieder Ruhewerte zu erzielen. Training verursacht beim Hund eine Vielzahl physiologischer Anpassungen (s. u.), je nach Dauer und Intensität des Trainingsprogrammes, der Leistungsfähigkeit und des Trainingsniveaus des Athleten (Rovira et al., 2008). Bei einem Versuch mit Hunden beobachteten Rovira et al. (2008), dass die Herzfrequenz der Tiere unmittelbar nach dem Training anstieg und noch nach bis zu 30 Minuten passiver Erholung über den Ruhewerten lag. Ebenso sind eine erhöhte Atemfrequenz und eine erhöhte rektale Körpertemperatur normale Befunde nach dem Training (Rovira et al., 2008). Dauerhaftes Training bewirkt Anpassungen des Energiestoffwechsels von Hunden und wurde in einigen Studien dargestellt. Mit der Beendigung eines Trainings kommt es zu erneuten funktionellen und strukturellen Anpassungen des Körpers auf die veränderten äußeren Bedingungen. Anpassungen an dauerhaftes Training werden von intrinsischen und extrinsischen Faktoren beeinflusst.

Intrinsische Faktoren beinhalten Alter, Geschlecht, Hormonstatus, Ernährungszustand, Gesundheitsstatus, Verteilung der Arten von Muskelfasern, Trainingszustand und Motivationsgrad (Scheuer und Tipton, 1977). Diese Autoren stellten auch fest, dass Umgebungsfaktoren als extrinsische Faktoren die Leistungsfähigkeit beeinflussen können. Es ist daher sehr schwierig, diese Menge an Faktoren, die das Training oder einen Trainingseffekt abändern, zu kontrollieren oder zu standardisieren (Scheuer und Tipton, 1977). Um die Effekte von Ausdauertraining bei Hunden vergleichen zu können, wurden unter kontrollierten Trainings- und Messbedingungen bereits zwei Vorgängerstudien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) durchgeführt.

2.1 Effekte von Ausdauertraining auf die Herzfrequenz

Der auffälligste Effekt von körperlichem Training stellt sowohl bei Studien mit Menschen (Saltin et al., 1968) als auch mit Tieren (Kaplinsky et al., 1968) das Absinken der Herzfrequenz in Ruhe und bei einem bestimmten Niveau submaximaler Belastung dar (Wyatt und Mitchell, 1974). Auch bei Hunden wurde bereits als Folge submaximalen Trainings eine Reduktion der Herzfrequenz beobachtet (Musch et al., 1985; Bove et al., 1979; Laughlin et al., 1978; Stone, 1977; Tipton et al., 1974). Bei menschlichen Sportlern ist sowohl in Ruhe als auch während des Trainings die Pulsfrequenz vergleichsweise langsamer und das Schlagvolumen deutlich größer als bei Nichtsportlern. Es konnte gezeigt werden, dass der verlangsamte Puls einen Vorteil bietet, da er längere Diastolen erlaubt mit genügend Zeit für die Ventrikel, sich zu entspannen und zu füllen. Während der Belastung gewährleistet ein hohes Schlagvolumen ein erhöhtes, zirkulierendes Blutvolumen pro Minute und eine verstärkte Kapazität für den Sauerstofftransport (Musch et al., 1985; Blomqvist und Saltin, 1983). Die Mechanismen, die für diese biologische Anpassung verantwortlich sind, sind noch unklar. Die Ursachen der Bradykardie wurden in einigen Studien untersucht mit unterschiedlichen Ergebnissen. Sie zeigen an, dass sich sowohl das parasympathische als auch das sympathische Nervensystem mit dem Training ändern (Stone, 1977). Wenn das Trainingsprogramm jedoch aus Übungen niedriger Intensität im Verhältnis zu der vorherigen Aktivität des Individuums besteht, können Veränderungen der Herzfrequenz ausbleiben (Herxheimer, 1924). Bei beiden Vorgängerstudien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) konnten sowohl in Ruhe als auch unter Belastung keine Trainingseffekte auf die Herzfrequenz beobachtet werden. Bei beiden Versuchen vermuteten die Autorinnen, dass die Trainingsintensität zu gering war, um

Veränderungen der Ruhe- und Belastungsherzfrequenz hervorzurufen. Jedoch blieb unberücksichtigt, dass Trainings- und Messperioden zu unterschiedlichen Jahreszeiten stattfanden, zu denen die Hunde entsprechend unterschiedlichen Außentemperaturen exponiert waren.

Zudem ist die Herzfrequenz ein sehr sensibler Parameter und kann als Reaktion auf zahlreiche Faktoren (z. B. physischer oder psychischer Stress) kurzfristig ansteigen (Vincent und Leahy, 1997; Galosy et al., 1979).

2.2 Effekte von Ausdauertraining auf den Energiestoffwechsel

Laut NRC (2006) wurde bei den meisten Studien der Energiebedarf von Hunden gemessen, die über weite Strecken liefen und dabei aerob Energiequellen nutzten. Während solch eines Ausdauertrainings befinden sich der Sauerstoffverbrauch und der Energieverbrauch in einem Gleichgewicht, so dass folglich der Sauerstoffverbrauch genutzt werden kann, um den Energieverbrauch zu messen. Beim Laufen von kurzen Distanzen verstoffwechselt der Hund sowohl aerob als auch anaerob Energiequellen (NRC, 2006). Der anaerobe Energieverbrauch ist jedoch schwer zu messen- er stellt eine Art „Sauerstoffschuld“ dar, die nachträglich beglichen werden muss (Staadén, 1984).

Langzeit-Ausdauertraining bewirkt bei Tieren im Allgemeinen einen Anstieg der RMR (Gleeson et al., 1982; Hill et al., 1984; Wilterdink et al., 1992), trotz der Tatsache, dass sowohl die Gesamtkörpermasse als auch die Fettmasse üblicherweise abnehmen. Diese Veränderungen der RMR scheinen die Folge von Änderungen in der fettfreien Masse und von einem Anstieg der metabolischen Leistung pro Gewichtseinheit der fettfreien Masse zu sein (Speakman und Selman, 2003).

Training ruft in verschiedenen Geweben und Organen unterschiedliche Reaktionen hervor, es kommt zu einer veränderten Verteilung der fettfreien Masse im Körper. Änderungen der RMR treten aber auch nach kurzen Trainingseinheiten in einem Zeitraum auf, der keine Variationen der fettfreien Masse betrifft (Speakman und Selman, 2003). Der Ruhestoffwechsel scheint auch nach dem Training erhöht zu bleiben. Solche kurzzeitigen Erhöhungen der RMR als Reaktion auf intensive Trainingseinheiten werden laut Speakman und Selman (2003) als EPOC bezeichnet und wurde in mehreren Studien dokumentiert; so berichten Baker und Gleeson (1998, 1999), dass bei Hausmäusen, die über kurze Zeit intensiv belastet wurden EPOC zwischen 80 und 90 % des gesamten Energieverbrauchs

ausmacht. Auch bei Wüstenleguanen wurde nach kurzen, intensiven Belastungen auf einem Laufband EPOC festgestellt (Hancock et al., 2001). Zuerst konnte ein EPOC beim Menschen nachgewiesen werden (Smith und Mc Naughton, 1993; Tremblay et al., 1992). Andere Studien konnten beim Menschen dagegen keinen trainingsbedingten Anstieg der RMR feststellen (Sharp et al., 1992; Schulz et al., 1991). Beim Hund wurde bisher ein EPOC noch nicht explizit nachgewiesen (NRC, 2006). Die Studien von Ruoss (2011) und Zollner (2012) an Haushunden kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich des Trainingseffekts auf die RMR. Im Gegensatz zur Studie von Ruoss (2011) an FBI-Hunden kam es bei Zollner (2012) zu einem trainingsinduzierten Anstieg der RMR. Für den beobachteten Trainingseffekt machte die Autorin die verlängerte Trainingsdauer ihres Versuches verantwortlich. Der gegensätzliche Verlauf der Außentemperaturen wurde in den beiden Studien jedoch nicht diskutiert.

In der Studie von Ruoss (2011) konnten beim Vergleich der Zustände „untrainiert I“ und „trainiert“ keine signifikanten Unterschiede der VO_2 unter Belastung festgestellt werden. Erst beim Zusammenfassen der Gruppen „untrainiert I“ und „untrainiert II“ wurde im Vergleich mit dem Zustand „trainiert“ eine Absenkung der VO_2 bei den Geschwindigkeiten 10 und 15 km/h beobachtet. Daraus wurde gefolgert, dass es durch das sechswöchige Ausdauertraining zu einer Steigerung der oxidativen Leistungsfähigkeit kam (Ruoss, 2011). Die Tiere wurden eventuell durch das Training effizienter. Möglich ist dies durch Anpassungen des Herz-Kreislaufsystems, schnellerem Sauerstofftransport oder veränderter Enzymausstattung in den Mitochondrien. Bei Zollner (2012) zeigte die absolute VO_2 unter Belastung keine signifikanten Unterschiede nach dem Training, bei der relativen, massenspezifischen VO_2 konnte nur bei 8 km/h ein signifikanter Anstieg beobachtet werden. Eine mögliche Ursache für den signifikanten und gegenläufigen Effekt nach dem Training im Vergleich zu Ruoss (2011) ist unter Umständen eine zu geringe Belastungsintensität während der Trainingsperiode. Die unterschiedlichen Ergebnisse beider Studien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) könnten auch durch die Verwendung verschiedener Hunderassen und das in Dauer und Intensität unterschiedlich gestaltete Training erklärt werden. Ruoss (2011) trainierte mittelgroße FBI-Hunde über einen Zeitraum von sechs Wochen während bei dem Versuch von Zollner (2012) Beagles ein 16-wöchiges Ausdauertraining absolvierten. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass ein Einfluss der Außentemperatur in den beiden Arbeiten eine Rolle spielte, und für unterschiedliche Ergebnisse verantwortlich war.

Ausdauertraining verbessert zudem die aerobe Kapazität, die am maximalen Sauerstoffverbrauch gemessen wird (Clausen, 1977; Scheuer und Tipton, 1977). Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) wird meist als Kriterium für die Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit des Menschen herangezogen. Sie gibt an, wie viele Milliliter Sauerstoff der Körper im Zustand der Ausbelastung maximal pro Minute verwerten kann. Die Grenze für langanhaltende aerobe Leistung liegt niedriger; die Größenordnung gilt als Maß für den Trainingszustand. Wenn das Aktivitätsniveau vor dem Trainingsprogramm bereits relativ hoch war, werden nur leichte oder keine Veränderungen der VO_2 hervorgerufen (Scheuer und Tipton, 1977). Bei Hunden und anderen Spezies stellt die Fettoxidation bei geringem Energieverbrauch die meiste Energie zur Verfügung (40 – 60 % der VO_{2max}). Bei steigender Trainingsintensität steigt auch die Glukose-Oxidation an. Sie ist die Hauptenergiequelle bei hohem Energieverbrauch (80 – 85 % der VO_{2max}). Die Menge der Energiebereitstellung aus Fettoxidation in Ruhe und während des Trainings ist bei Hunden jedoch zweimal so groß als bei weniger aeroben Spezies wie dem Menschen oder der Ziege (Meyer und Doty, 1988; McLelland et al., 1994). Eine Erhöhung der VO_{2max} bei Hunden durch Training wurde bei Procurshim et al. (1989) und Musch et al. (1985) festgestellt. Sie wird auf ein gesteigertes Schlagvolumen (Blomqvist und Saltin, 1983; Gleeson et al., 1983) zurückgeführt. Arbeit über der VO_{2max} (genannt supramaximal) ist nur möglich, wenn Energie aus anaerober Glykolyse genutzt wird und resultiert in einer schnellen Anhäufung von Milchsäure (Laktat). Supramaximale körperliche Anstrengung führt rasch zu Erschöpfung während man submaximale körperliche Anstrengung für einen langen Zeitraum und unbegrenzt fortsetzen kann, wenn Fett die Energiequelle ist (NRC, 2006). Allerdings ist es nicht leicht, Hunde dazu zu bringen, ihre VO_{2max} zu überschreiten (Donald und Ferguson, 1966).

Der Sauerstoffverbrauch und die Herzfrequenz stehen, wie in Kapitel II, 1.4.1 dargestellt, in einem engen Zusammenhang. Barger et al. (1956) stellten bei einem Versuch mit Hunden, die ein abgestuftes Training auf dem Laufband absolvierten, fest, dass bei erhöhter Arbeitsintensität der Sauerstoffverbrauch linear anstieg und ein höherer Prozentsatz des peripheren Blutes Muskelkapillaren durchströmte. Aufgrund des erhöhten Sauerstoffbedarfs der beanspruchten Muskulatur konnte durch Training ein höheres Herzschlagvolumen beobachtet werden.

Ausdauertraining führt zu einer Erhöhung des Leistungsstoffwechsels, sichtbar durch eine Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme (Broeder et al., 1992; Evans und Rose, 1988; Musch et al., 1985; Procurshim et al., 1989). Nach längeren Phasen der Inaktivität

kommt es jedoch zu einer Rückbildung der trainingsbedingten Anpassungen (Procurshim et al., 1989; Klausen et al., 1981). Auch bei Zollner (2012) erreichten die Parameter des Energiestoffwechsels, die sich durch das Training veränderten, nach der dreimonatigen, trainingsfreien Zeit wieder ihre Ausgangswerte.

2.3 Effekte von Ausdauertraining auf die Muskeldicke

Bei Hund oder Pferd macht die Skelettmuskulatur bis zu 50 % der Körpermasse aus (Gunn, 1989). Im Allgemeinen findet man bei aktiven Arten jeder Größenklasse eine größere relative Muskelmasse als bei weniger aktiven Arten (Kayar et al., 1989; Weibel et al., 1992).

Der Skelettmuskel ist ein heterogenes Gewebe und wird in älteren Untersuchungen am Menschen in Typ I, Typ IIa und Typ IIb-Fasern unterteilt. Inzwischen werden biochemisch mehr als die aufgelisteten Sorten unterschieden (Scott et al., 2001). Die im Folgenden beschriebenen Arbeiten stellen für die jetzige Studie dennoch eine wichtige Referenz dar. Die Klassifizierung der Muskelfasern von Säugetieren bezieht sich auf ihren Stoffwechsel. Muskelfasern von Typ I und IIa sind durch einen oxidativen Stoffwechsel gekennzeichnet, während die Fasern von Typ IIb über einen anaeroben, glykolytischen Stoffwechsel verfügen (Hill, 1998). Die IIb-Fasern von Hunden sind nicht mit denen von anderen Säugetieren vergleichbar, deshalb bezeichnen Snow et al. (1982) sie als nicht typische IIb-Fasern. Möglicherweise steht die Anwesenheit einer zweiten Sorte von IIb-Fasern, die ebenfalls eine moderate bis hohe oxidative und glykolytische Kapazität aufweisen, in Beziehung zur Laufleistung des Hundes (Snow et al., 1982). Alle caninen Muskelfasern besitzen eine hohe aerobe Kapazität, sind ermüdungsresistent und enthalten hohe Konzentrationen aerober Enzyme (Maxwell et al., 1977). Sie scheinen jedoch auch eine hohe anaerobe Kapazität zu haben, da alle bis auf einige wenige Typ I-Fasern hohe Konzentrationen des anaeroben Enzyms Glykogenphosphorylase besitzen (Gunn, 1978a). Folglich sind Hunde gut an Ausdauerleistung (aerobe Muskelarbeit) angepasst und nutzen Fett als Energiequelle, während anaerobe Energiequellen wahrscheinlich eher für solche Hunde wichtiger sind, die zum Sprinten ausgebildet sind (NRC, 2006). Der Skelettmuskel besitzt eine außergewöhnliche Plastizität und kann sich an veränderte Anforderungen anpassen (Flück und Hoppeler, 2003; Booth und Thomason, 1991), indem die Zusammensetzung der Muskelfasern wechselt. Die einzelnen Fasern sind wandlungsfähig

und können ihren molekularen Aufbau und ihre Eigenschaften abändern (Pette, 1998). Um auf bestimmte Herausforderungen der Umwelt zu antworten, passt sich das Muskelgewebe schnell und spezifisch an äußere Umstände, wie zum Beispiel Training, an (Hoppeler und Flück, 2002). Ausdauertraining führt zu einer Zunahme von Typ I und zu einer Abnahme von Typ II-Muskelfasern. Schnelligkeitstraining erhöht den Anteil der Typ II-Fasern. Während die Größe der Typ I-Fasern nicht durch Training beeinflusst werden kann, wird durch Krafttraining eine Größenzunahme (Hypertrophie) der Typ II-Fasern beobachtet (Petrides, 1998). Die verschiedenen Trainingsarten, wie Ausdauer- (viele Wiederholungen mit geringer Belastung) und Krafttraining (wenige Wiederholungen mit hoher Belastung) rufen demzufolge unterschiedliche Veränderungen der Muskelfasern hervor. Ausdauertraining über einen Zeitraum von sechs bis acht Wochen kann bei zuvor untrainierten Personen zu einer erhöhten Mitochondriendichte (von + 15 bis zu + 40 %) (Rösler et al., 1985; Hoppeler et al., 1985) führen, zusätzlich steigt die Kapillardichte im Muskel (Hoppeler et al., 1985; Andersen und Henriksson, 1977).

So hatte auch das Ausdauertraining der Hunde in beiden Vorgängerstudien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) keine Auswirkungen auf die Muskeldicke verschiedener Lokomotionsmuskeln. Bei der Untersuchung der gleichen Muskelgruppen mittels Ultraschall konnte, wie nach dem Ausdauertraining erwartet, keine Zunahme der Dicke bei den untersuchten Muskeln beobachtet werden, da reines Ausdauertraining insbesondere zu den oben genannten funktionellen Anpassungen führt (siehe Gerth et al., 2015a), während Krafttraining eine Muskelhypertrophie zur Folge hat.

Alle strukturellen und funktionellen Modifikationen der Muskulatur sind reversibel, sie werden so lange beibehalten, wie der Stimulus besteht (Hoppeler und Flück, 2002). Bereits wenige Wochen nach Beendigung einer Trainingsperiode kommt es durch die Inaktivität im Muskelgewebe zu erneuten physiologischen Anpassungen (Costill et al., 1985). Auch der Ausgangstrainingzustand spielt eine Rolle. Während bei Athleten die Eigenschaften der Muskulatur in einer Trainingspause über den Werten untrainierter Kontrollpersonen bleiben, kehren die trainingsbedingten Anpassungen von erst seit kurzer Zeit trainierenden Personen oft auf die Werte vor dem Training zurück. Die Verteilung der Muskelfasern bleibt während den ersten Wochen Inaktivität noch bestehen, aber ungefähr acht Wochen nach dem Einstellen des Trainings kann es bei Ausdauersportlern zu einem abnehmenden Anteil an Typ I und einer Verschiebung von Typ IIa zu IIb-Fasern kommen. Bei

Kraftsportlern wird dagegen ein höherer Anteil an oxidativen Fasern beobachtet (Mujika und Padilla, 2001).

2.4 Effekte von Ausdauertraining auf die Aktivität

Aktivität und Bewegungsintensität können bei Hunden mit Accelerometern über längere Untersuchungszeiträume aufgezeichnet werden (Hansen et al., 2007; Brown et al., 2010; Dow et al., 2009; Preston et al., 2012; Wrigglesworth et al., 2011).

Die Aktivität eines Begleithundes wird von den Aktivitäten seines Besitzers beeinflusst und wechselt je nach dem Wochentag. Dow et al. (2009) zeigten, dass die teilnehmenden Hunde gerade am Wochenende eine höhere Aktivität aufwiesen, da an diesen Tagen mehr Interaktionen mit einer Person stattfanden.

Der Einfluss von Ausdauertraining auf die freie Aktivität von Hunden wurde bereits in den Arbeiten von Ruoss (2011) und Zollner (2012) untersucht. Zollner beobachtete, dass Training keinen Einfluss auf die freie Aktivität der Beagles zu haben schien. Dagegen waren die FBI-Hunde von Ruoss während der Trainingsphase deutlich weniger aktiv. Man geht davon aus, dass die Tiere die vermehrte Belastung durch das tägliche Training mit längeren Ruhezeiten über den restlichen Tag ausglich. Das ist insofern beachtlich, dass das Training in der Studie von Ruoss weniger intensiv gestaltet wurde und die FBI-Hunde im Vergleich zu den Beagles einer verhältnismäßig bewegungsfreudigen Hunderasse angehören.

3. Zielsetzungen und Arbeitshypothesen

3.1 Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

Bereits in mehreren Studien mit Hunden wurde ein linearer Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und dem Sauerstoffverbrauch gezeigt (Beyreuther, 2007; Ruoss, 2011; Zollner, 2012). Die Messung der Herzfrequenz stellt eine einfache, nicht invasive und kostengünstige Methode zur Abschätzung des Sauerstoffverbrauchs und damit des Energiebedarfs dar.

Für die mittelgroßen FBI-Hunde erstellten Beyreuther (2007) und Ruoss (2011) eine lineare Korrelation. Zollner (2012) konnte eine lineare Regressionsgleichung für das Verhältnis von Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch bei kleinen Hunden (Beagles)

ermitteln. Die Werte aller drei Messphasen für die Regressionsgleichung von Zollner (2012) stimmten mit den Ergebnissen der Vorgängerstudie (Ruoss, 2011) annähernd überein. Um mithilfe einer Gleichung zukünftig in Forschung und Praxis den individuellen Energiebedarf annähernd genau und kostengünstig abschätzen zu können, musste jedoch die Größe der jeweiligen Hunderasse berücksichtigt werden. Allometrische Effekte wurden sowohl für den Energiebedarf in Bewegung als auch für das Herzkreislaufsystem beschrieben. Nach Bezug der Sauerstoffaufnahme auf das metabolische Körpergewicht resultierten nahezu identische Regressionsgleichungen für die beiden unterschiedlich großen Hunderassen (siehe Zollner, 2012). Dennoch besitzt diese Methode zur Energieabschätzung einige Limitationen: Die Herzfrequenz kann durch verschiedene äußere Faktoren beeinflusst werden. Diese Abweichung einer streng rhythmischen Folge der Herzfrequenz wird als Herzfrequenzvariabilität bezeichnet und hängt mit Veränderungen der Herzaktivität zusammen (Massin et al., 1999). Bei niedriger Aktivität der gemessenen Individuen wird die Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch schlechter, wodurch folglich die Abschätzung des tatsächlichen Energieverbrauchs ungenauer wird (Christensen et al., 1983). Bisherige Methoden zur Abschätzung des Energiebedarfs bei Hunden, wie die direkte/ indirekte Kalorimetrie (siehe Kapitel II, 1.4.2) und die doubly labelled water (DLW)-Methode, können nur unter Laborbedingungen durchgeführt werden. Indem bei der DLW-Methode das Körperwasser der Probanden mit natürlich vorkommenden, stabilen Isotopen des Wassers markiert wird, kann über die Ausscheidung der Isotope die Kohlendioxidproduktion und damit der Energieumsatz erfasst werden. Folglich bietet im Vergleich die Messung der Herzfrequenz einige Vorteile. Die Methode ist im Gegensatz zu den Alternativen einfach anzuwenden, nicht invasiv und kostengünstig. Als ein Ziel der vorliegenden Studie soll die Reproduzierbarkeit der Regression für die in diesem Versuch stärker belasteten Beagles überprüft werden. Mit dem Erstellen einer weiteren Regression für die gleiche Hunderasse bei erhöhter Leistung (intensiviertes Laufbandtraining) kann diese Methode an Genauigkeit hinzugewinnen.

3.2 Effekte von Ausdauertraining und deren Reversibilität

Die beiden Vorgängerstudien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) mit Haushunden ergaben bezüglich der Effekte auf den Energiestoffwechsel unterschiedliche Ergebnisse. Ein Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, unter identischen, standardisierten Bedingungen ein

umfangreicheres Training an Hunden (Beagles) zu absolvieren. Durch die intensiveren Trainingsbedingungen wurden in Analogie zur Humanphysiologie als Ergebnis eine Anhebung des Ruhestoffwechsels und eine vermehrte Energiebereitstellung durch den oxidativen Stoffwechsel erwartet. Es sollte überprüft werden, ob es bei intensiverem Training im Gegensatz zu den Ergebnissen von Zollner (2012) bei gegebener Leistung (km/h Laufband) zu einer Absenkung der VO_2 kommt. Nach der zehnwöchigen trainingsfreien Zeit erwartete man eine Rückbildung der physiologischen Anpassungen.

Neben dem Energiestoffwechsel sollte in der vorliegenden Studie auch die Muskeldicke bestimmter Lokomotionsmuskeln untersucht werden. Da die Hunde ein reines Ausdauertraining absolvierten, wurde keine signifikante Zunahme der Muskeldicke erwartet.

Als weiterer Parameter sollte die freie Aktivität der Hunde in den einzelnen Versuchsphasen untersucht werden. Zollner beobachtete, dass die Beagles während des Trainings bzw. während der Messphase „trainiert“ aktiver waren als während der trainingsfreien Zeit. Es wurde damit gerechnet, dass die Beagles in der vorliegenden Arbeit das gleiche Verhaltensmuster aufwiesen. Die FBI-Hunde der Studie von Ruoss (2011) zeigten dagegen an den Trainingstagen eine verminderte freie Aktivität und kompensierten damit die Mehrbelastung.

III. TIERE, MATERIAL UND METHODEN

1. Versuchstiere

Für die vorliegende Studie standen zehn gesunde, weibliche intakte Beagles im Alter zwischen drei und vier Jahren zur Verfügung. Sieben Hunde hatten bereits Erfahrung mit der Trainings- und Messtechnik, da sie an einem vorhergehenden, vergleichbaren Versuch (Zollner, 2012) teilgenommen hatten. Diese Tiere absolvierten das komplette Trainingsprogramm (Tabelle 9) und nahmen an allen Messungen teil (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Alter, Gewicht und BCS der Hunde, die das gesamte Versuchsprogramm vollständig absolvierten zu Beginn des Versuchs.

Name	Alter [Jahre]	KM [kg]	BCS
Anni	3	11,7	5
Holly	3	12,9	4
Manjula	3	14,4	5
Möhre	3	12,7	5
Schoko	3	14,1	5
Umbra	3	13,3	4
Wendy	3	13,8	5

Zwei der drei neu hinzugekommenen Hunde („Bonny“ und „Marla“) wurden aufgrund einer schlechteren Kondition auf einem niedrigeren Niveau als ursprünglich vorgesehen trainiert. Die drei neu hinzugekommenen Hunde konnten aus verschiedenen Gründen, wie z. B. Ängstlichkeit, nicht an alle Messvorgänge gewöhnt werden und absolvierten nicht das komplette Messprogramm in den Messphasen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Alter, Gewicht, BCS der Hunde, die nicht das gesamte Versuchsprogramm vollständig absolvierten zu Beginn des Versuchs.

Name	Alter [Jahre]	KM [kg]	BCS	Trainingsprogramm	Atemfrequenz Atemminutenvolumen Sauerstoffaufnahme	Herzfrequenz	Muskeldicke	Aktivität bei Freilauf
Bonny	4	15,1	5	Auf niedrigerem Niveau (Kapitel III, 4.5)	Nur in Ruhe	Nur in Ruhe	Gemessen	Gemessen
Marla	4	13,5	5	Auf niedrigerem Niveau (Kapitel III, 4.5)	Nur in Ruhe	Nur in Ruhe	Gemessen	Gemessen
Quietschie	4	14,4	5	Vollständig absolviert	Nicht gemessen	Nicht gemessen	Nicht gemessen	Gemessen

Zwischen dem Versuch von Zollner (2012) und der eigenen Studie lagen etwa acht Monate. Die Hunde wurden unter standardisierten Bedingungen gehalten. Es wurde eine Konstanz der Körpermasse angestrebt bei optimalem BCS (5/9).

Nach §8 Abs. 1 des Tierschutzgesetzes wurde ein Antrag auf Genehmigung des Tierversuches gestellt. Dieser wurde von der Tierschutzbeauftragten der Fakultät und der zuständigen Behörde (Regierung von Oberbayern) bewilligt (AZ 55.2-1-54-2531-67-10).

2. Tierhaltung

Tagsüber von 8:00 bis ca. 15:30 Uhr hielten sich die Tiere in kleinen Gruppen von bis zu sechs Hunden, in befestigten Ausläufen (30 - 55 m²) auf. Ausgestattet waren die Ausläufe mit Schutzhütten und Wannen zum Liegen. Wasser stand jederzeit zur freien Verfügung bereit. Die Abende und Nächte verbrachten die Hunde in temperierten Ställen. Die Innenzwinger, in denen die Tiere einzeln oder mit bis zu drei Hunden untergebracht waren, enthielten zum Ruhen Zinkwannen, die mit Sägespänen gefüllt waren. Trinkwasser stand über Rohrleitungen zur freien Verfügung. Es handelte sich um eine Haltung nach §11 des Tierschutzgesetzes.

Während der gesamten Versuchszeit wurden alle Hunde mit kommerziellen Trockenalleinfutter gefüttert (Tabelle 7). Bis zur Mitte der Trainingsphase wurde den Tieren Pedigree Pal, Complete Adult 5 Sorten Fleisch mit Gemüse (Hersteller: Mars GmbH; Zusammensetzung: Getreide (u. a. 14 % Mais, 10 % mit ganzem Weizen), Fleisch und tierische Nebenerzeugnisse (u. a. 4 % 5 Sorten Fleisch), Öle und Fette (u. a. 0,25 % Fischöl, 0,4 % Sonnenblumenöl), pflanzliche Eiweißextrakte, pflanzliche Nebenerzeugnisse (u. a. 2 % Zuckerrübenschnitzel), Mineralstoffe, Gemüse (u. a. 4 % Karotten, u. a. 4 % Bohnen)) gefüttert. Ab dem 31. August 2012 (Trainingsphase) wurde für alle Hunde das Futter umgestellt auf das Trockenalleinfutter Pedigree Pal, VITAL PROTECTION Adult mit 5 Sorten Fleisch (Hersteller: Mars GmbH; Zusammensetzung: Getreide, Fleisch und tierische Nebenerzeugnisse (u. a. 4 % 5 Sorten Fleisch), Öle und Fette (u. a. 0,2 % Fischöl, 0,2 % Sonnenblumenöl), pflanzliche Nebenerzeugnisse (u. a. 2 % Zuckerrübenschnitzel), Mineralstoffe). Es handelt sich dabei um ein nahezu identisches Produkt wie Pedigree Pal, Complete Adult 5 Sorten Fleisch mit Gemüse (Tabelle 7).

Tabelle 7: Inhaltsstoffe der verwendeten Versuchsfutter bei identischem Nährstoffgehalt laut Deklaration des Herstellers.

Rohnährstoff	Pro 100 g uS
Rohprotein	20
Rohfett	13
Rohfaser	2,5
Rohasche	7,5
N-freie Extraktstoffe	49
Umsetzbare Energie MJ ME ¹⁾	1,35

1) Berechnet nach NRC (2006).

Die tägliche Futtermenge richtete sich nach dem individuellen Bedarf, der zur Erhaltung des optimalen Ernährungszustandes, gemessen mithilfe des BCS, nötig war.

Da die Hunde für die Messungen nüchtern sein mussten, wurden sie in der Mess- und auch in der Trainingsphase im Anschluss an das Training gefüttert. Die Menge der zugeteilten Ration ergab sich aus dem individuellen Energiebedarf basierend auf der wöchentlich durchgeführten Erfassung des Körpergewichts und des Body Condition Scores. Dieser sollte während der gesamten Versuchsdauer bei 5/9 liegen (Laflamme, 1997). Tieren die zunahmen, wurde eine geringere Ration zugeteilt, denjenigen die Körpergewicht verloren eine größere Ration.

3. Verwendete Geräte

3.1 Laufband

Das Training fand auf einem überdurchschnittlich langen Laufband statt (WT Metall, Bamberg, Deutschland; Abbildung 2). Die Lauffläche war 5 m lang und 80 cm breit, die Geschwindigkeit konnte mittels Drehschalter am vorderen Ende des Laufbandes bis maximal 18 km/h erhöht werden. Auf der linken Seite war das Laufband durch eine 1 m hohe Wand abgeschlossen, auf der rechten Seite befand sich ein Sichtgitter. Am hinteren Ende des Laufbandes war eine Lichtschranke angebracht, die bei Durchschreiten das Laufband sofort stoppte. Damit wurde ein Abstürzen der Hunde bei einem plötzlichen Stehenbleiben verhindert.

Beim Training liefen die Hunde paarweise auf dem Laufband (Abbildung 4). Mit einem festen Trainingspartner waren die Hunde motivierter, über die vorgesehene Zeit zu laufen, zudem bot diese Technik eine Zeitersparnis beim täglichen Training. Die Tiere trugen ein Geschirr (Ruffwear – Hundegeschirr Web Master Harness, Ruffwear Inc., Bend, USA), das über eine kurze Leine jeweils seitlich am Laufband über die gesamte Länge verbunden war. Mit dieser Vorrichtung konnten die Hunde an den Leinen vor und zurück gleiten und dabei ihre Position während des Laufens frei wählen. Durch die Länge der beiden Leinen wurde jedoch ein Wechsel auf die gegenüberliegende Seite verhindert, um den Partner nicht zu behindern. Durch ein Zurückfallen konnten die Beagles Erschöpfung oder Unlust anzeigen. In diesem Fall wurde das Training abgebrochen.

Im Abstand von 1 m befand sich vor dem Laufband eine Windmaschine (Trotec, TTW 25000 S, Heinsberg, Deutschland, Maße: 1255 x 410 x 1285 mm), die entsprechend der Geschwindigkeit des Laufbandes mit einem Regler eingestellt wurde. Auf einem Tachometer neben dem Drehschalter konnte die eingestellte Geschwindigkeit abgelesen werden. Es wurde eine Windgeschwindigkeit entsprechend der Laufgeschwindigkeit des sich auf dem Laufband befindenden Hundes erzeugt. Dadurch konnten während des Laufens annähernd natürliche Verhältnisse geschaffen werden, der fehlende Laufwind konnte ersetzt werden und eine Überhitzung der Tiere wurde verhindert (Luftmenge: max. 25000 m³/h, Rotordrehzahl: max. 685 min⁻¹).

Mithilfe eines tragbaren Anemometers (Windmaster 2, Kaindl electronic, Rohrbach, Deutschland) konnte die Windgeschwindigkeit auf Höhe des Hundes gemessen und kontrolliert werden.



Abbildung 2: Laufband mit Windmaschine.

3.2 Respirometer

Verwendet wurde das Metamax R 3X (Version MMX3X 2.1, Cortex Biomedical GmbH, Leipzig, Deutschland), ein mobiles Ergospirometrie-System, das für jede Art von ergospirometrischer Belastungsuntersuchung, normalerweise in der Humanphysiologie, eingesetzt werden kann. Es handelte sich um ein tragbares Respirometriegerät, zur Bestimmung von Atemgasen unter Belastung nach dem Mischkammer-Messverfahren (dynamische Messkammer). Das Basissystem befand sich in zwei Gehäuseschalen und beinhaltete den Sender sowie den Sauerstoff- und Kohlendioxidsensor. Das Atemzugvolumen wurde durch einen Volumensensor (DVT, Turbine, 0,1 – 12,0 l/sec) mit einem Flügelrad gemessen, der auf eine luftdichte Atemmaske aufgesteckt wurde. Die Absaugstrecke (60 cm) transportierte die Atemluft vom Sensor zur Basiseinheit. Alle im Datenlogger des Geräts gespeicherten Daten wurden über eine Funkstrecke auf den Rechner übertragen, so dass eine Überwachung der Daten zeitgleich zur Messung möglich war. Der O₂-, CO₂- und Volumensensor sowie der Luftdruck mussten in regelmäßigen Abständen kalibriert werden. Während der O₂- bzw. CO₂-Sensor gegen die Umgebungsluft mit einem Eichgas kalibriert wurde, erfolgte die Eichung des Volumensensors mit einer genormten Handpumpe. Das Spirometriegerät wurde entsprechend den Vorgaben des Herstellers regelmäßig zu Beginn der neuen Messwoche kalibriert (Cortex; Calibration Kit, CPX Systems CE 0124), dabei wurde auch das Körpergewicht der Hunde in der Datenbank

aktualisiert. Bei den Messungen auf dem Laufband wurde das Basisgerät (Maße: 120 x 110 x 45 mm, Gewicht: 650 g) in einem Rucksack speziell für Hunde (Trixie Heimtierbedarf GmbH und Co. KG, Targ, Deutschland) auf dem Rücken der Tiere verstaut. Während der Ruhemessungen befand sich das Gerät neben den Hunden auf dem Boden. Die Messungen wurden rechnergesteuert im zugehörigen Programm (MetaSoft 3.4, STATERA-Edition, Cortex Biomedical GmbH, Leipzig, Deutschland) gestartet. Während der gesamten Messung wurden die Atemgase im Analysator hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung gemessen und aufgezeichnet (inspiratorische/ expiratorische O₂- und CO₂-Konzentration, Atemfluss). Aus diesen Werten wurden automatisch daraus resultierende Parameter (Atemminutenvolumen, respiratorischer Quotient, relative Sauerstoffaufnahme, relative Kohlendioxidabgabe, Energieverbrauch) berechnet. Da das System ursprünglich für den Menschen entwickelt wurde, wurde die Empfindlichkeit des Volumensensors auf ein minimales Atemvolumen von 100 ml herabgesetzt und die maximal zu messende Atemfrequenz auf 240 ml pro Minute heraufgesetzt.

Die spirometrischen Rohdaten wurden über die Metasoft-Exportfunktion in das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Office Excel 2010 exportiert und dort weiter ausgewertet.

3.3 Respirometriemasken

Für die respiratorischen Messungen an den Tieren wurden die eigens angefertigten Masken aus der vorherigen Studie verwendet (Zollner, 2012). Für Ruhe- und Belastungsmessungen wurden zwei Masken mit unterschiedlicher Größe hergestellt. Als Grundgerüst diente ein mit Plastik überzogener Drahttrennmaulkorb für Windhunde (Classic, Sofahund®, Atzelsdorf, Österreich). Der Korb war sehr tief und bot damit genug Raum zum Hecheln. Da er sich biegen ließ, konnte er der Kopfform der Beagles gut angepasst werden. An dem Bügel, der über den Kopf der Hunde führte, konnte die Absaugstrecke vom Volumensensor an der Maske zum Metamax-Gerät befestigt werden. Das Drahtgestell war mit Plastikfolien und Gewebeklebeband luftdicht ummantelt. Am vorderen Ende befand sich auf Maulhöhe ein Reduzierstück aus Gummi (NW 80/40, Handel Vertrieb Dienstleistung, Dortmund, Deutschland), in dessen Öffnung der Volumensensor gesteckt werden konnte. Durch diese Abdichtung wurde ein Gasaustausch mit der Umgebungsluft unterbunden. Die Auflagefläche der Maske auf der Schnauze war im Inneren der Maske mit Schaumstoff gepolstert. Die Respirometriemaske konnte hinter den Ohren mit zwei

elastischen Gummibändern fixiert werden. Bei den Belastungsmessungen auf dem Laufband wurde zum Schutz des Volumensensors vor Stößen ein weiterer, unveränderter und größerer Drahtmaulkorb übergezogen.

4. Versuchsaufbau

4.1 Allgemein

Der Versuch gliederte sich in sechs Phasen:

1. Gewöhnungsphase (10 Wochen)
2. Messphase „untrainiert I“ (4 Wochen)
3. Trainingsphase (16 Wochen)
4. Messphase „trainiert“ (3 Wochen)
5. Trainingsfreie Zeit (10 Wochen)
6. Messphase „untrainiert II“ (3 Wochen)

Tabelle 8: Einzelne Messparameter, Messmethode und Zeitpunkt der Messungen im Versuch.

Messparameter	Messmethode	Zeitpunkt der Messung
Atemfrequenz	Respirometer	In jeder Messphase
Sauerstoffaufnahme	Respirometer	In jeder Messphase
Herzfrequenz	Polar-Messgerät/ EKG	In jeder Messphase
Muskeldicke	Ultraschall	In jeder Messphase
Aktivität	Acticals	Täglich
Außentemperatur	I-Buttons	Täglich
Body Condition Score	Tastbefund	Wöchentlich
Körpergewicht	Waage	Wöchentlich

Nach einer zehn Wochen umfassenden Gewöhnungsphase, in der die Hunde mit den Messgeräten und dem Laufen auf dem Laufband vertraut gemacht wurden, folgte die erste Messphase. Die Hunde wurden im untrainierten Zustand untersucht, um Basiswerte zu erhalten (Messphase „untrainiert I“). Daraufhin absolvierten die Tiere ein 16 Wochen

dauerndes Ausdauertraining auf dem Laufband, nach einem eigens erstellten Trainingsplan (siehe Tabelle 9, Trainingsphase). Die Messungen im Anschluss sollten Veränderungen von gewissen Parametern (Atemfrequenz, Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz, Muskeldicke, Aktivität, BCS, Körpergewicht) aufgrund des langfristigen Trainings sichtbar machen (Messphase „trainiert“) und erstreckten sich über drei Wochen. In den darauf folgenden 10 Wochen fand kein Training statt, die Tiere hatten tagsüber freie Bewegung in den Ausläufen. In den abschließenden Messungen (Messphase „untrainiert II“) wurde die Reversibilität eventueller Veränderungen mittels Respirometrie, Elektrokardiogramm (EKG) und Muskelultraschall überprüft (Abbildung 3).

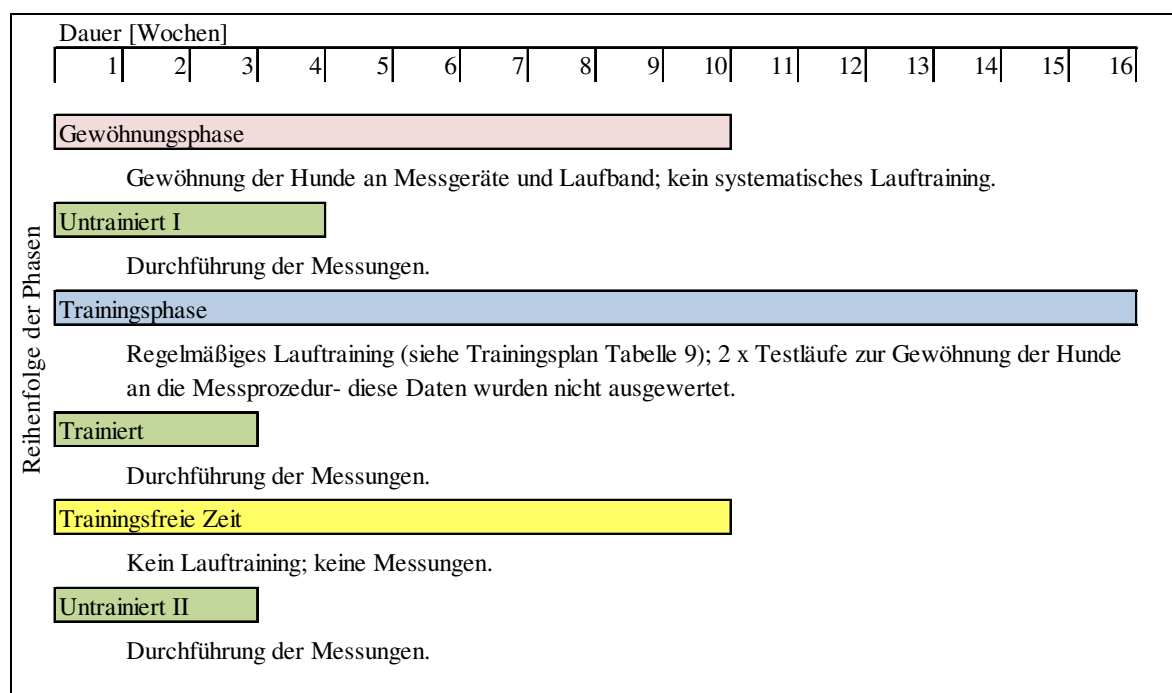


Abbildung 3: Zeitplan des Versuchs mit Überblick über Dauer und Reihenfolge der einzelnen Phasen.

4.2 Gewöhnungsphase

Sieben der zehn Versuchshunde waren acht Monate vorher bereits Teilnehmer einer ähnlich aufgebauten Studie (Zollner, 2012). Während der Gewöhnungsphase wurden die Hunde (z. T. erneut) an das Laufband und an das Tragen der Respirometriemaske herangeführt. Die späteren Messungen sollten damit möglichst nicht durch Stress verfälscht werden. Vor allem die Tiere, welche nicht aus der letzten Studie übernommen wurden, sollten sich an die Handhabung während der Untersuchungen gewöhnen und

wurden zuerst ohne Tragen der Messausrüstung mit dem Laufband vertraut gemacht. Um einen Ballenabrieb bei plötzlichem Stoppen auf dem Laufband zu vermeiden, liefen die ungeübten Hunde zunächst mit Hundeschuhen (Porta Wear Hundeschuhe, Größe XS, Schulze Heimtierbedarf GmbH, Porta Westfalica, Deutschland).

4.3 Trainingsphase

Während der Trainingsphase absolvierten die zehn Beagles ein Ausdauertraining auf dem Laufband. Die Hunde wurden nach einem eigens aufgestellten Übungsplan (siehe Tabelle 9) sechs Tage in der Woche trainiert. Ein Tag in der Woche diente der Regeneration und Erholung. Da vor allem der Einfluss von langfristigem Training untersucht werden sollte, betrug die gesamte Trainingsdauer 16 Wochen.

Tabelle 9: Trainingsplan in der Trainingsphase mit der Häufigkeit der Trainingseinheiten pro Woche und den verschiedenen Trainingsarten. Grundagentraining (GLT), Intervalltraining (IT)- extensives Intervalltraining (EIT) und intensives Intervalltraining (IIT), Schwellentest (ST).

Trainingsplan	GLT Ab Woche 3 Dauer: 90 min	IT		ST Dauer: 30 min
		EIT Ab Woche 3 Dauer: 40 min	IIT Dauer: 40 min	
1. Woche	3 x	3 x		
2. Woche	3 x	3 x		
3. Woche	3 x	3 x		
4. Woche	3 x	3 x		
5. Woche	2 x	3 x		1 x
6. Woche	3 x	3 x		
7. Woche	3 x	3 x		
8. Woche	3 x	3 x		
9. Woche	3 x	3 x		
10. Woche	3 x	3 x		
11. Woche	2 x	3 x		1 x
12. Woche	3 x	2 x	1 x	
13. Woche	3 x	2 x	1 x	
14. Woche	3 x	2 x	1 x	
15. Woche	3 x	2 x	1 x	
16. Woche	3 x	2 x	1 x	

Legende:	Variierende Geschwindigkeiten
	Siehe Abbildung 5
	Siehe Abbildung 6

Das Trainingsprotokoll wurde in Anlehnung an die beiden Vorgängerarbeiten (Ruoss, 2011; Zollner 2012) entwickelt. Ziel war es, in einem relativ kurzen Trainingszeitraum von 16 Wochen ein effektives und zeiteffizientes Trainingsprotokoll zu konzipieren, das bei den Hunden messbare Auswirkungen auf den Energiestoffwechsel und die Muskulatur

hervorrufen. Das Training gliederte sich in zwei Trainingsarten: Ein intensives, 90 Minuten dauerndes Grundlagentraining und ein lockeres, 40 Minuten dauerndes Intervalltraining. Beide Trainingsmethoden wurden in Analogie zum Humanbereich gewählt. Im Vergleich zu den beiden früheren Studien wurde sowohl an mehr Tagen pro Woche trainiert als auch die einzelne Trainingseinheit zeitlich verlängert. Reines Ausdauertraining wurde mit einem Intervalltraining kombiniert, dessen wechselnde, kurze Belastungs- und Erholungsphasen durch eine unvollständige Erholung des Organismus eine hocheffektive Trainingsvariante darstellt. Dabei wurden die Hunde in zwei Gruppen aufgeteilt. An einem Tag wurde abwechselnd jeweils eine Gruppe intensiv, die andere weniger intensiv trainiert.

Zwei der drei neu hinzugekommenen Hunde (siehe Kapitel III, 1) absolvierten nicht das komplette, geplante Trainingsprogramm (siehe Kapitel III, 4.5). Alle sieben zu den Messungen auf dem Laufband herangezogenen Tiere führten das Ausdauertraining nach dem Trainingsplan (Tabelle 9) aus.



Abbildung 4: Ausdauertraining der Hunde paarweise auf dem Laufband. Durch die Sicherungsleinen konnte jeder Hund seine Position frei wählen, ohne den Partner beim Laufen zu stören.

4.3.1 Grundlagentraining

Während des aeroben Grundlagentrainings liefen die Hunde konstant über 90 Minuten. Die Laufgeschwindigkeit wurde etappenweise erhöht. Zu Beginn der Trainingsphase betrug die

Geschwindigkeit 5 km/h, mit sich steigender Kondition der Hunde wurde sie auf bis zu 10 km/h erhöht.

4.3.2 Intervalltraining

Das jeden zweiten Tag stattfindende, weniger intensive Intervalltraining betrug konstant 40 Minuten. In den ersten vier Trainingswochen wurden zur Eingewöhnung Geschwindigkeiten zwischen 3, 5 und 8 km/h variiert. Ab der fünften Trainingswoche wurde ein extensives, ab der zwölften zusätzlich ein intensives Intervalltraining durchgeführt.

Extensives Intervalltraining (aerob): Hierbei wurden abwechselnd schnelle und langsame Laufphasen kombiniert. Die vier schnellen Intervalle über je fünf Minuten wurden jeweils unterbrochen von langsameren, gleichlangen Phasen (Abbildung 5). Die Grundgeschwindigkeit betrug während der gesamten Trainingsphase 5 km/h, die jeweils höhere Geschwindigkeit betrug zu Beginn der Phase 8 km/h und wurde auf bis zu 14 km/h erhöht.

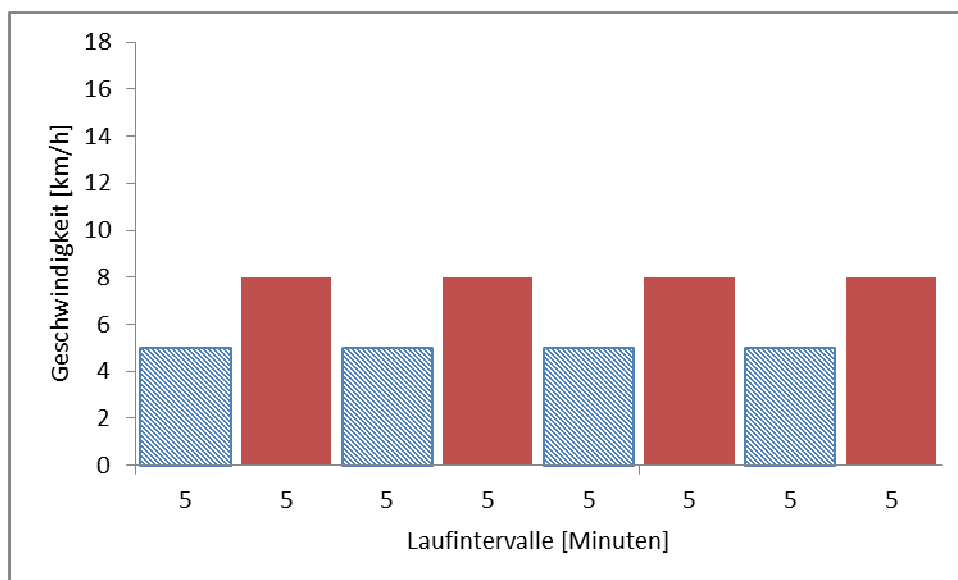


Abbildung 5: Extensives Intervalltraining in der Trainingsphase mit langsamen (blauen Balken) und gleichlangen, schnellen Intervallen (rote Balken) zu Beginn der Trainingsphase.

Intensives Intervalltraining (aerob): Längere Laufphasen mit einer Grundgeschwindigkeit von 5 km/h wurden mit kurzen Belastungsphasen von bis zu 16 km/h in den letzten beiden Trainingswochen kombiniert (Abbildung 6). Diese Trainingsart wurde ab der zwölften Trainingswoche einmal pro Woche durchgeführt.

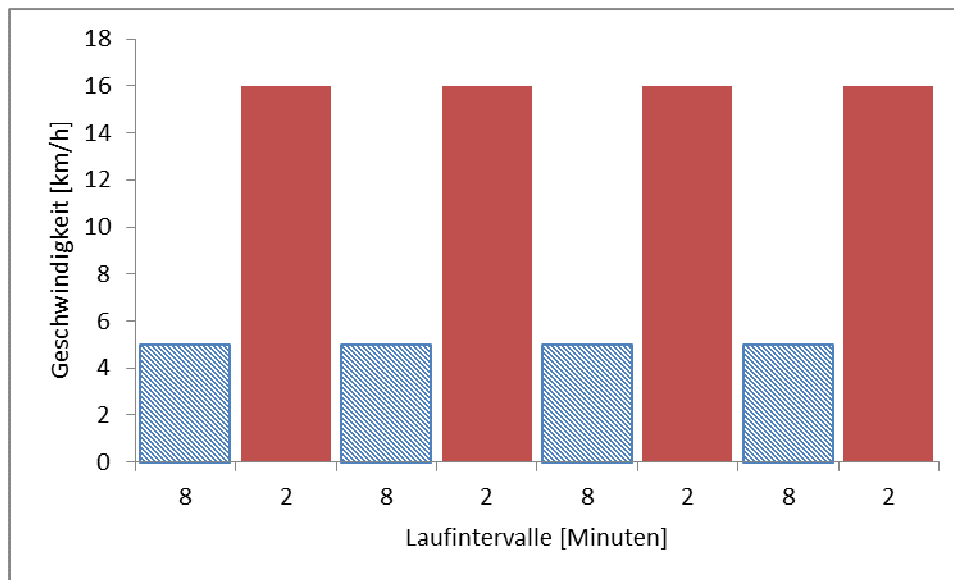


Abbildung 6: Intensives Intervalltraining in der Trainingsphase mit langen, langsamen (blaue Balken) und kurzen, schnellen Intervallen (rote Balken).

In den ersten vier Wochen der Trainingsphase sollten die Hunde schrittweise an die Laufzeit von 90 Minuten (Grundlagentraining) und 40 Minuten (Intervalltraining) gewöhnt werden. Jeden zweiten Tag sollte die Laufzeit um zehn Minuten erhöht werden, um Ende der zweiten Trainingswoche bereits die maximale Laufzeit des Grundlagentrainings bei einer Geschwindigkeit von 8 km/h zu erreichen. Um die Tiere an die abrupt wechselnden Geschwindigkeiten beim Intervalltraining zu gewöhnen, konnte es in dieser Zeit individuell gestaltet werden, mit Geschwindigkeiten zwischen 3, 5 und 8 km/h.

Ab der fünften Woche sollte das Grundlagentraining, bei gleicher Laufzeit, schrittweise in der Geschwindigkeit erhöht werden. Jede Woche sollten laut Trainingsplan weitere fünf Minuten der Trainingszeit mit einer höheren Geschwindigkeit gelaufen werden. Ebenso sollte die Geschwindigkeit der schnellen Laufphasen des extensiven Intervalltrainings konstant auf bis zu 14 km/h erhöht werden. Ab der zwölften Trainingswoche sollte einmal pro Woche zusätzlich das intensive Intervalltraining eingeführt werden. Die kurzen Belastungsphasen sollten wochenweise ebenfalls in der Geschwindigkeit gesteigert werden

auf die maximale Geschwindigkeit von 16 km/h. Angestrebt wurde beim Grundlagentraining eine Geschwindigkeit von 10 km/h über die gesamte Laufzeit (90 Minuten). Beim intensiven Intervalltraining war es das Ziel, die Geschwindigkeit so weit zu erhöhen, dass die Tiere während der Sprints galoppieren mussten.

Um den Verlauf des Trainings zu dokumentieren und die Gewöhnung der Hunde an die Messprozedur zu erhalten, wurden alle fünf Wochen Messläufe eingeplant. Diese fanden zweimal während der Trainingsphase statt und beinhalteten für jeden Hund einen Schwellentest. Die Daten aus diesen Tests wurden nicht ausgewertet.

4.4 Trainingsfreie Zeit

Im Anschluss an die zweite Messphase nach dem Training fand die trainingsfreie Zeit statt. Diese Phase dauerte zehn Wochen. Die Hunde wurden in dieser Zeit nicht trainiert. Wie gewohnt hatten sie bis zum Nachmittag sieben Stunden freie Bewegung in den Ausläufen. Weiterhin wurde wöchentlich das Körpergewicht und der BCS der Hunde kontrolliert und die Futtermenge, wenn nötig, entsprechend angepasst. Auch die Temperatur- und Aktivitätsmessungen wurden aufgezeichnet.

4.5 Tatsächlich absolviertes Training

In den ersten vier Wochen der Trainingsphase wurden die Hunde schrittweise an die maximale Laufzeit von 90 bzw. 40 Minuten gewöhnt. Jeden zweiten Tag wurde die Laufzeit um zehn Minuten erhöht. Ende der zweiten Trainingswoche erreichten acht der zehn Hunde beim Grundlagentraining dieses Ziel mit einer Geschwindigkeit von 8 km/h. Im weiteren Verlauf des Trainings konnten daher nur diese acht Hunde nach dem Trainingsplan trainiert werden. Die zwei Hunde mit der schlechteren Kondition („Bonny“ und „Marla“) wurden auf einem niedrigeren Niveau als ursprünglich vorgesehen trainiert. Sie erreichten nur eine maximale Laufzeit von 55 Minuten bei 5 km/h, davon liefen sie 20 Minuten bei 8 km/h. Die restlichen Hunde wurden beim Grundlagentraining etappenweise in der Laufgeschwindigkeit gesteigert. In der neunten Trainingswoche liefen diese Beagles bereits die Hälfte der laut Trainingsplan vorgesehenen Zeit von 90 Minuten bei 10 km/h. Eine Geschwindigkeit von 10 km/h über 90 Minuten wurde in der 15. Trainingswoche erreicht.

Bis zur vierten Woche wurde das Intervalltraining individuell gestaltet, mit wechselnden Geschwindigkeiten zwischen 3, 5 und 8 km/h. In der fünften Woche betrug die

Geschwindigkeit der schnellen Laufphasen des extensiven Intervalltrainings 8 km/h. Sie wurde bei den acht Hunden ab der sechsten Woche auf 10 km/h, ab der neunten Woche auf 11 km/h, ab der elften Woche auf 12 km/h und ab der vierzehnten Woche auf 14 km/h erhöht. Die zwei Hunde, bei denen das Training auf niedrigerem Niveau gehalten werden musste, erreichten erst in der achten Woche die für diese Trainingsart vorgesehene Laufzeit von 40 Minuten. Die Geschwindigkeit der schnellen Laufphasen betrug hier 8 km/h. Erst in der elften Woche konnte sie auf 10 km/h gesteigert werden.

Mit der zwölften Trainingswoche wurde zusätzlich das intensive Intervalltraining einmal pro Woche eingeführt. Die höhere Geschwindigkeit, bei der die Hunde zum Teil galoppierten, wurde in der vierzehnten Woche auf 16 km/h gesteigert.

5. Messungen in den Messphasen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“

Die drei Messphasen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ beinhalteten jeweils folgende Tests:

5.1 Herzfrequenzmessungen

Die Herzfrequenzmessung in Ruhe konnte aufgrund von Aufregung bei einem Hund nicht durchgeführt werden. Auch die Messungen unter Belastung erfolgten nur bei sieben der zehn Tiere, da drei Hunde nicht an das stressfreie Tragen der Messausrüstung auf dem Laufband gewöhnt werden konnten (siehe Tabelle 6).

5.1.1 Polar-Messgerät

Die Herzfrequenzmessung wurde mithilfe eines Polar Herzfrequenz-Messgerätes durchgeführt: Der elastische POLAR-Gurt (POLAR WearLink) enthielt zwei Messelektroden und einen codierten POLAR-Sender. Dieser maß die Herzfrequenz-Signale und sendete sie an die kompatible POLAR-Uhr (Model S610i, Polar Elektro GmbH, Büttelborn). Aufgezeichnet wurden sie in einem Intervall von fünf Sekunden. Mit einer Software (Polar Precision Performance Software, Polar Elektro GmbH, Büttelborn) konnten die Trainingsdaten ausgelesen werden. Die Datenübertragung zwischen dem Armbandempfänger und dem PC fand über eine Infrarot-Schnittstelle statt. Eine anschließende Bearbeitung der Daten wurde mittels Excel durchgeführt.

Die Herzfrequenzmessungen erfolgten parallel zu den Respirometrie-Messungen, bei den Belastungstests auf dem Laufband sowie bei den Ruhemessungen. Die Hunde trugen den Gurt um die Brust, dabei befand sich der Sender immer auf der linken Brustkorbseite unmittelbar hinter dem Ellenbogen oberhalb des Sternums. Die Gurtlänge wurde so eingestellt, dass der Gurt nicht zu locker oder zu fest anlag. Um eine ausreichende Leitfähigkeit der Elektroden zu gewährleisten, wurden sie vor dem Anlegen des Gurts mit Wasser befeuchtet und Gel (Gelbildner PNC 400, OMIKRON® GmbH Naturwaren, Neckarwestheim, Deutschland) aufgetragen. Den Armbandempfänger trugen die Tiere an einem eigens hierfür hergestellten Halsband um den Hals.

5.1.1.1 Datenbearbeitung Polar-Messgerät

Da das Messintervall des Respirometrie Gerätes zehn Sekunden betrug, wurden die Fünf-Sekunden-Intervalle der Polar-Herzfrequenz-Werte in Zehn-Sekunden-Mittelwerte umgerechnet. Die während der Schwellentests über 30 Minuten mit dem POLAR-Sensor ermittelte Herzfrequenz wurde mit der zeitgleich durch das EKG gemessenen Herzfrequenz verglichen (Korrelation der Herzfrequenz von EKG und Polar-Messgerät; s. u.).

Für die Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme wurden aus den Zehn-Sekunden-Mittelwerten Zwei-Minuten-Mittelwerte berechnet.

5.1.2 Elektrokardiogramm

Die elektrographischen Messungen wurden mit dem batteriebetriebenen, telemetrisch arbeitenden Televet 100 Gerät (Televet 100, Kruuse, Marslev, Dänemark) und den dazugehörigen Patientenkabeln durchgeführt. Bei den verwendeten Elektroden handelte es sich um selbstklebende Einmalgelelektroden (ASF-50, 45 mm, Asmuth GmbH, Minden, Deutschland). In jeder Messphase wurden sowohl Ruhe- als auch Belastungs-EKGs angefertigt. Die Messungen fanden gleichzeitig mit den Respirometrie-Ruhemessungen bzw. den Schwellentests auf dem Laufband statt.

Die Übertragung der Daten erfolgte telemetrisch über Bluetooth-Übertragung unter Nutzung eines Belkin USB-Sticks auf ein mit der Software Televet 100 Version 5.0 (ECG Software, Version 5.0, Rösch & Associates Information Engineering GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland) ausgestattetes Notebook. Damit konnten die Daten in Echtzeit dargestellt und abgespeichert werden. Zur Anfertigung eines EKGs wurden die Elektroden

bei jedem Hund identisch, in Anlehnung an die bipolare Extremitätenableitung nach Einthoven, an der Brustwand platziert. Direkt hinter dem Ellbogen und drei Finger breit oberhalb des Sternums wurden auf der rechten und linken Körperseite zwei je 5 x 5 cm große Stellen rasiert, mit Alkohol entfettet und trocken getupft. Die rote Elektrode wurde auf die Rasurstelle rechts vorne, die gelbe links vorne und die grüne links hinten angeklebt. Die Anbringung der schwarzen Erdungselektrode erfolgte rechts hinten (Tabelle 10).

Tabelle 10: Elektrodenplatzierung für ein Standard-Elektrokardiogramm.

Elektrode	Elektrodenplatzierung
Grün	Hinten links
Rot	Vorne rechts
Schwarz	Hinten rechts
Gelb	Vorne links

Nach Fixierung der Patientenkelabel an den Klebeelektroden wurde der Brustkorb für das Belastungs-EKG mit einer elastischen Baumwollbinde umwickelt, so dass die Elektroden bedeckt waren und ein Verrutschen während der Bewegung vermieden wurde. Nach Einstecken der Kabel in das Televet 100 Gerät (Maße: 12,0 x 6,5 x 2,2 cm; Gewicht: 145 g) und Fixierung im Brustgeschirr über eine weitere Baumwollbinde wurde die Aufzeichnung gestartet. Über das Notebook wurde nach Start der Software eine kurze Beobachtung in Echtzeit vollzogen, um den Sitz der Elektroden zu kontrollieren. Da das Ziel des Versuchs lediglich die Erfassung der Herzfrequenz war, erfolgte die Aufzeichnung im Einthoven-Modus (zur Auswertung wurde, wie in der Kleintiermedizin üblich, die Ableitung II verwendet; Tabelle 11) mit einem Papiervorschub von 50 mm/s und einer Empfindlichkeit von 10 mm/mV. Die Aufzeichnung konnte am Monitor verfolgt werden. Dabei wurden drei Vektoren angezeigt.

Tabelle 11: Ableitungen nach Einthoven.

Ableitung I:	Rechts vorne zu links vorne
Ableitung II:	Rechts vorne zu links hinten
Ableitung III:	Links vorne zu links hinten

5.1.2.1 Datenbearbeitung EKG

Die Datenarchivierung erfolgte in der integrierten, alphabetisch angelegten Patientenverwaltung des Programms. Die Herzfrequenz wurde aus dem zeitlichen Abstand der R-Zacken aufeinanderfolgender Herzaktionen automatisch über eine softwareintegrierte Analyse der R-Zacken errechnet. Zur Auswertung wurden die Daten in das Excel exportiert. Da die Intervalle in Millisekunden (ms) vorlagen, mussten die erhaltenen Werte nach folgender Gleichung in die Herzfrequenz (Schläge/Minute) umgerechnet werden:

Berechnung der Herzfrequenz anhand der Dauer eines R-R-Intervalls im EKG:

Herzfrequenz [Schläge/Minute] bzw. [Schläge/60.000 ms]

Die Zehn-Sekunden-Mittelwerte wurden berechnet, um eine Kalibration mit der durch das Polar-Gerät ermittelten Herzfrequenz zu ermöglichen. Für die Korrelation der Herzfrequenz von EKG und Polar-Messgerät wurden die während der Schwellentests (über je 30 Minuten) sowohl vom EKG als auch vom POLAR-Sensor zeitgleich aufgezeichneten Herzfrequenzen in Zehn-Sekunden-Mittelwerte umgerechnet und verglichen.

Zusätzlich wurden die unterschiedlichen Herzfrequenzen, die durch das EKG aufgezeichnet wurden, in Ruhe und unter Belastung ermittelt. Für jeden Hund und jede durchgeführte Messung wurde aus den Zehn-Sekunden-Mittelwerten beim Ruhe-EKG die mittlere Herzfrequenz und beim Belastungs-EKG während des Schwellentests (bei 5, 8 und 12 km/h) die mittlere, die maximale und die minimale Herzfrequenz errechnet.

Für die Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme wurden aus den Zehn-Sekunden-Mittelwerten Zwei-Minuten-Mittelwerte berechnet.

5.2 Respiratorische Messungen

Es erfolgten drei verschiedene Messungen mit dem Respirometriegerät. Die Atemfrequenz, das Atemminutenvolumen, die absolute und die relative Sauerstoffaufnahme der Tiere wurden für die vorliegende Arbeit ausgewertet. Die Sauerstoffaufnahme wurde zudem auf die metabolische KM der Hunde umgerechnet. Pro Messphase wurden jeweils drei Ruhemessungen durchgeführt (Dauer pro Hund 30 Minuten). Zur Auswertung der Leistungsfähigkeit des Stoffwechsels unter Belastung wurden zwei Tests auf dem Laufband erstellt: bei den Schwellentests, die in gleicher Weise wie bei Zollner (2012)

ausgeführt wurden, wurden die Hunde auf dem Laufband unter schrittweiser Erhöhung der Geschwindigkeit von 5 auf 8 bzw. 12 km/h für jeweils fünf Minuten gemessen, inklusive einer kurzen Messung in Ruhe zuvor über fünf Minuten und einer Erholungsmessung danach über zehn Minuten, die beide neben dem Laufband stattfanden (Dauer der Messung pro Hund insgesamt 30 Minuten). Bei den Stufentests wurden die Tiere ausschließlich auf dem Laufband unter schrittweiser Erhöhung der Geschwindigkeit von 3 auf 7 bzw. 10 km/h für jeweils 5 Minuten gemessen (Dauer der Messung pro Hund insgesamt 15 Minuten).

Vor jeder erneuten Messung wurde eine Umgebungsluftmessung zum Abgleich von Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt in der Umgebungsluft sowie zur Messung der Temperatur und des Luftdrucks durchgeführt. Im Anschluss wurde der Volumensensor in die sich auf Maulhöhe befindende Öffnung der Maske eingesteckt. Vor der eigentlichen Messung erfolgte eine Testmessung, deren Daten nicht aufgezeichnet wurden.

Aufgrund von Unruhe konnten respirometrisch nur neun der zehn Hunde vermessen werden, unter Belastung verweigerten drei Hunde, mit der Messausrüstung zu laufen (siehe Tabelle 6). Die sieben Hunde, die vermessen wurden, hatten auch das komplette Trainingsprogramm (Tabelle 9) absolviert.

5.2.1 Ruhemessungen

Die Ruhemessung fand für die Hunde unter möglichst stressfreien Bedingungen immer am gleichen, ruhigen Ort statt, um Aufregung während der Messung zu vermeiden. Die Hunde befanden sich dabei nach freier Wahl in Bauch- oder Seitenlage oder auch sitzend auf einer Decke. Die Dauer der Messung betrug 30 Minuten. Das Metamax-Gerät lag währenddessen neben den Tieren auf dem Boden (Abbildung 7). Die Untersuchende befand sich während der Messung neben dem Hund.



Abbildung 7: Beagle-Hündin „Manjula“ während einer Ruhemessung.

5.2.1.1 Datenbearbeitung Ruhemessungen

Aus den in Excel exportierten spirometrischen Rohdaten der Ruhemessungen, die in Zehn-Sekunden-Intervallen aufgezeichnet wurden, wurden die Zwei-Minuten-Mittelwerte aller gemessenen Daten berechnet. Aus den drei Messungen wurden für jeden Hund die durchschnittlichen Zwei-Minuten-Minima der Atemfrequenz, des Atemminutenvolumens, der absoluten und der relativen Sauerstoffaufnahme errechnet. Die Sauerstoffaufnahme wurde zudem auf die metabolische KM der Tiere umgerechnet. Das aktuelle Körpergewicht der Hunde ergab sich aus der entsprechenden absoluten und der relativen Sauerstoffaufnahme.

Für die Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme wurde zunächst der niedrigste VO_2 -Zwei-Minuten-Mittelwert der Gesamtmessung gesucht. Der niedrigste, dazugehörige Zwei-Minuten-Mittelwert der Herzfrequenz (sowohl vom Polar-Messgerät als auch vom EKG) wurde dazu gesucht und übernommen. Mithilfe des Körpergewichtes der einzelnen Hunde zum jeweiligen Zeitpunkt wurde aus der absoluten VO_2 [l/min] die relative VO_2 [ml/min/kg] berechnet und der Mittelwert sowohl von der Sauerstoffaufnahme als auch der dazugehörigen Herzfrequenz [Schläge/Minute] der drei Messungen pro Messphase gebildet.

5.2.2 Belastungstests

5.2.2.1 Schwellentests

Beim Schwellentest handelte es sich um eine Messung, die sich in drei Teile gliederte. Der erste Teil bestand aus einer kurzen Ruhemessung über fünf Minuten, bei der die Hunde auf einer Decke gleich neben dem Laufband lagen. Der mittlere Teil fand sofort im Anschluss auf dem Laufband statt. Schrittweise wurde die Geschwindigkeit für jeweils fünf Minuten von 5 auf 8 und 12 km/h erhöht. Das Verstellen der Geschwindigkeit nahm immer zehn Sekunden in Anspruch. Danach wurde über zehn Minuten die Erholung der Hunde erfasst. Sie ruhten dabei wieder auf dem Ort der Ruhemessung. Insgesamt dauerte der Schwellentest pro Hund 30 Minuten (Abbildung 8).

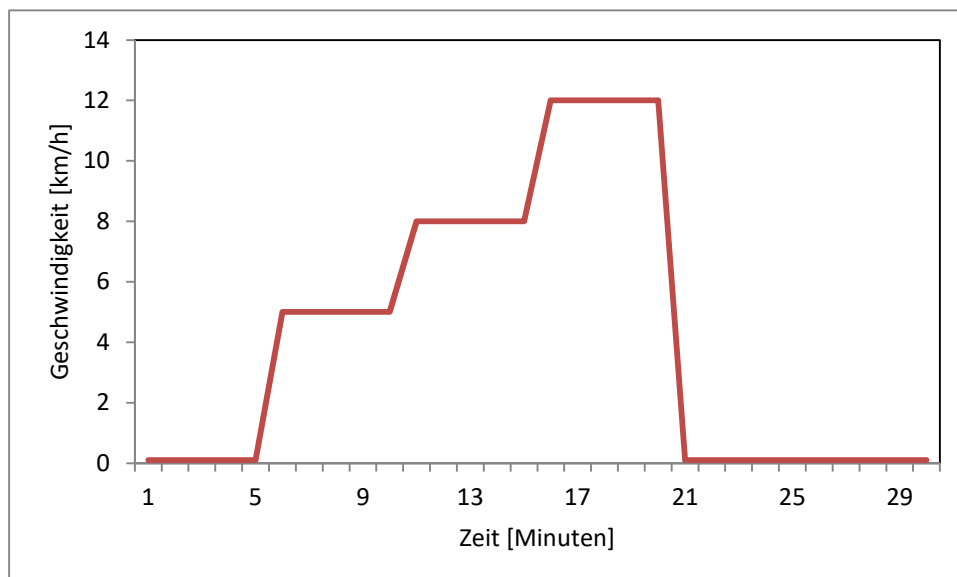


Abbildung 8: Ablauf des Schwellentests. Fünf Minuten Ruhe, jeweils fünf Minuten auf dem Laufband bei 5, 8 und 12 km/h, zehn Minuten Erholung.

5.2.2.1.1 Datenbearbeitung Schwellentests

Aus den spirometrischen Rohdaten der Schwellentests, die in Zehn-Sekunden-Intervallen aufgezeichnet wurden, wurden die Zwei-Minuten-Mittelwerte der Atemfrequenz, des Atemminutenvolumens, der absoluten und der relativen Sauerstoffaufnahme errechnet. Unphysiologische Werte, nämlich solche Werte, bei denen verursacht durch das Hecheln der Hunde kurzzeitig nicht der gesamte Gasaustausch ermittelt wurde (also trotz Bewegung nur unter 15 Atemzüge in der Minute angezeigt wurden), wurden entfernt. Aus

den Werten wurden pro Tier aus den drei durchgeführten Messungen pro Messphase die Werte verwendet, die die letzten zwei Minuten eines jeden Fünf-Minuten-Laufes der Geschwindigkeiten 5, 8 und 12 km/h zusammenfassen. Jede Änderung der Geschwindigkeit auf dem Laufband war mit einer kurzen Aufregung für die Hunde verbunden, durch die sich zunächst alle Messwerte erhöhten. Im Anschluss daran stabilisierten sich die Werte und blieben für die jeweilige Geschwindigkeit nahezu konstant. Aus diesem Grund wurden für die statistische Auswertung die Werte, die die letzten zwei Minuten pro Geschwindigkeit zusammenfassen, verwendet. Wenn das nicht möglich war, weil Werte fehlten, wurden die nächstfrüheren, vollständigen Zwei-Minuten-Mittelwerte verwendet und entsprechend gekennzeichnet. Diese Werte wurden auch für die Berechnung der Sauerstoffaufnahme bezogen auf die metabolische KM verwendet.

Da bei der Messung der Leistungsstoffwechsel der Tiere erfasst werden sollte, wurde respirometrisch nur der Abschnitt des Tests auf dem Laufband, bei dem die Tiere in Bewegung waren, analysiert. Die kurze Ruhemessung zu Beginn der Tests und die Erholungsmessung im Anschluss an die Laufband-Arbeit wurden respirometrisch nicht ausgewertet. Um identische Messbedingungen zu der Arbeit von Zollner (2012) zu gewährleisten, wurde bei den Hunden dennoch der vollständige, dreiteilige Schwellentest durchgeführt. Die parallel dazu erfasste EKG- und Polar-Herzfrequenz wurde für die Auswertung der Korrelation beider Herzfrequenz-Messmethoden über den gesamten Testzeitraum von insgesamt 30 Minuten verwendet.

Für die Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme wurde jeweils für die Geschwindigkeiten 5, 8 und 12 km/h das VO_2 -Herzfrequenz-Zwei-Minuten-Mittelwertepaar (sowohl vom Polar-Messgerät als auch vom EKG) zur Auswertung herangezogen, das die letzten zwei Minuten eines jeden Fünf-Minuten-Laufes zusammenfasst. Wenn das nicht möglich war, weil Werte fehlten, wurde das nächstfrühere vollständige Zwei-Minuten-Mittelwertepaar verwendet. Mithilfe des Körpergewichtes der einzelnen Hunde zum jeweiligen Zeitpunkt wurde aus der absoluten VO_2 [l/min] die relative VO_2 [ml/min/kg] berechnet und der Mittelwert sowohl von der Sauerstoffaufnahme als auch der dazugehörigen Herzfrequenz [Schläge/Minute] der drei Messungen pro Messphase gebildet.

5.2.2.2 Stufentests

Beim Stufentest liefen die Hunde auf dem Laufband bei je 3, 7 und 10 km/h für jeweils fünf Minuten (Abbildung 9). Auch bei dieser Messung erfolgte das Erhöhen der Geschwindigkeit standardisiert jeweils innerhalb von zehn Sekunden. Der Test dauerte pro Hund 15 Minuten.

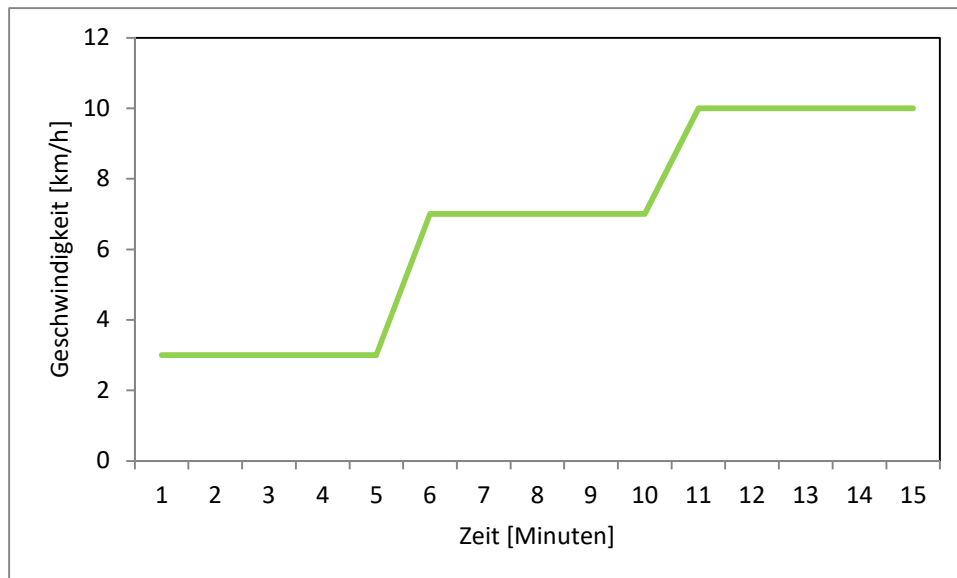


Abbildung 9: Ablauf des Stufentests. Jeweils fünf Minuten auf dem Laufband bei 3, 7 und 10 km/h.

5.2.2.2.1 Datenbearbeitung Stufentests

Die Bearbeitung der spirometrischen Rohdaten bei den Stufentests erfolgte auf die gleiche Weise wie bei den Schwellentests (s. o.). Auch hier wurden die Zwei-Minuten-Mittelwerte der Daten ermittelt. Allerdings wurden die Werte des Stufentests nur für die Berechnung der Korrelation von Polar-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme verwendet.

Für die Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme wurde jeweils für die Geschwindigkeiten 3, 7 und 10 km/h das VO_2 -Herzfrequenz-Zwei-Minuten-Mittelwertepaar (für diesen Test nur vom Polar-Messgerät) zur Auswertung herangezogen, das die letzten zwei Minuten eines jeden Fünf-Minuten-Laufes zusammenfasst. Wenn das nicht möglich war, weil Werte fehlten, wurde das nächstfrühere vollständige Zwei-Minuten-Mittelwertepaar verwendet. Mithilfe des Körpergewichtes der einzelnen Hunde zum jeweiligen Zeitpunkt wurde aus der absoluten VO_2 [l/min] die relative VO_2

[ml/min/kg] berechnet und der Mittelwert sowohl von der Sauerstoffaufnahme als auch der dazugehörigen Herzfrequenz [Schläge/Minute] der drei Messungen pro Messphase gebildet.

5.3 Muskeldickenmessungen

Während jeder Messphase wurden jeweils drei Messungen der Muskeldicke mit Ultraschall durchgeführt. An der Vorder- und Hinterhand wurden ausgewählte Lokomotionsmuskeln vermessen. Die Messungen wurden am stehenden Hund an der linken Körperhälfte mithilfe eines tragbaren Ultraschallgerätes (Titan Sonosite, Bothell, WA USA) durchgeführt. Mit einem Linearschallkopf (7,5 - 10 MHz) wurden der M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. quadrizeps femoris und der M. psoas minor untersucht. Die Eindringtiefe lag konstant bei 3,9 cm.

Um sicher zu stellen, dass an allen Messtagen und -phasen immer die gleiche Messstelle verwendet wurde, wurde die Länge der Skapula und des Femurs zu Beginn vermessen. Das Ansetzen des Schallkopfes erfolgte auf halber Höhe von lateral, im Winkel von 90° zum Knochen. Die Lendenmuskulatur wurde nach Ertasten der Kreuzbeinflügel immer zwischen den letzten beiden Lendenwirbeln vermessen.

Aufgrund von Unruhe konnte die sonographische Muskeldickenmessung an einem der zehn Hunde nicht erfolgen („Quietschie“, siehe Tabelle 6).

5.3.1 Messstellen

M. supraspinatus (Abbildung 10):

An der tiefsten Stelle des Muskels, die ventral durch die Fossa supraspinata begrenzt wird, wurde die Messlinie parallel zur Spina scapulae geführt. Die dorsale Begrenzung stellte eine Muskelfaszie dar, die mit der Spina abschloss und eine Teilfaszie der Fascia profunda war.

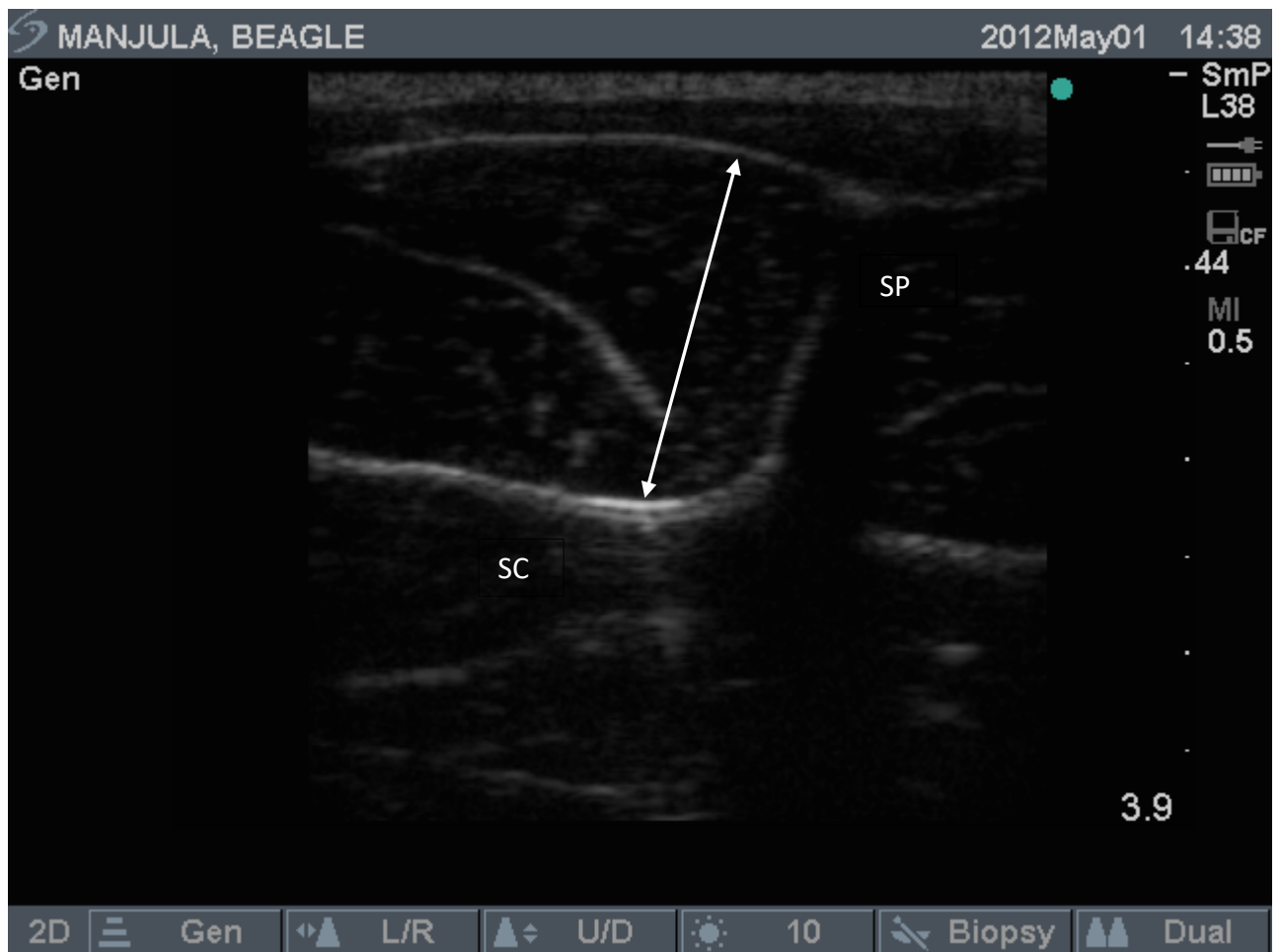


Abbildung 10: Ultraschallbild der Messstelle und Muskeldickenmessung des M. supraspinatus; ventral begrenzt von der Scapula (SC), caudal von der Spina scapulae (SP), dorsal von einem Anteil der Fascia profunda.

M. infraspinatus (Abbildung 11):

Auch um die Dicke des M. infraspinatus zu ermitteln, wurde der tiefste Punkt an der Fossa infraspinata aufgesucht und eine Linie parallel zur Spina scapulae zur dorsalen Faszienbegrenzung gelegt.

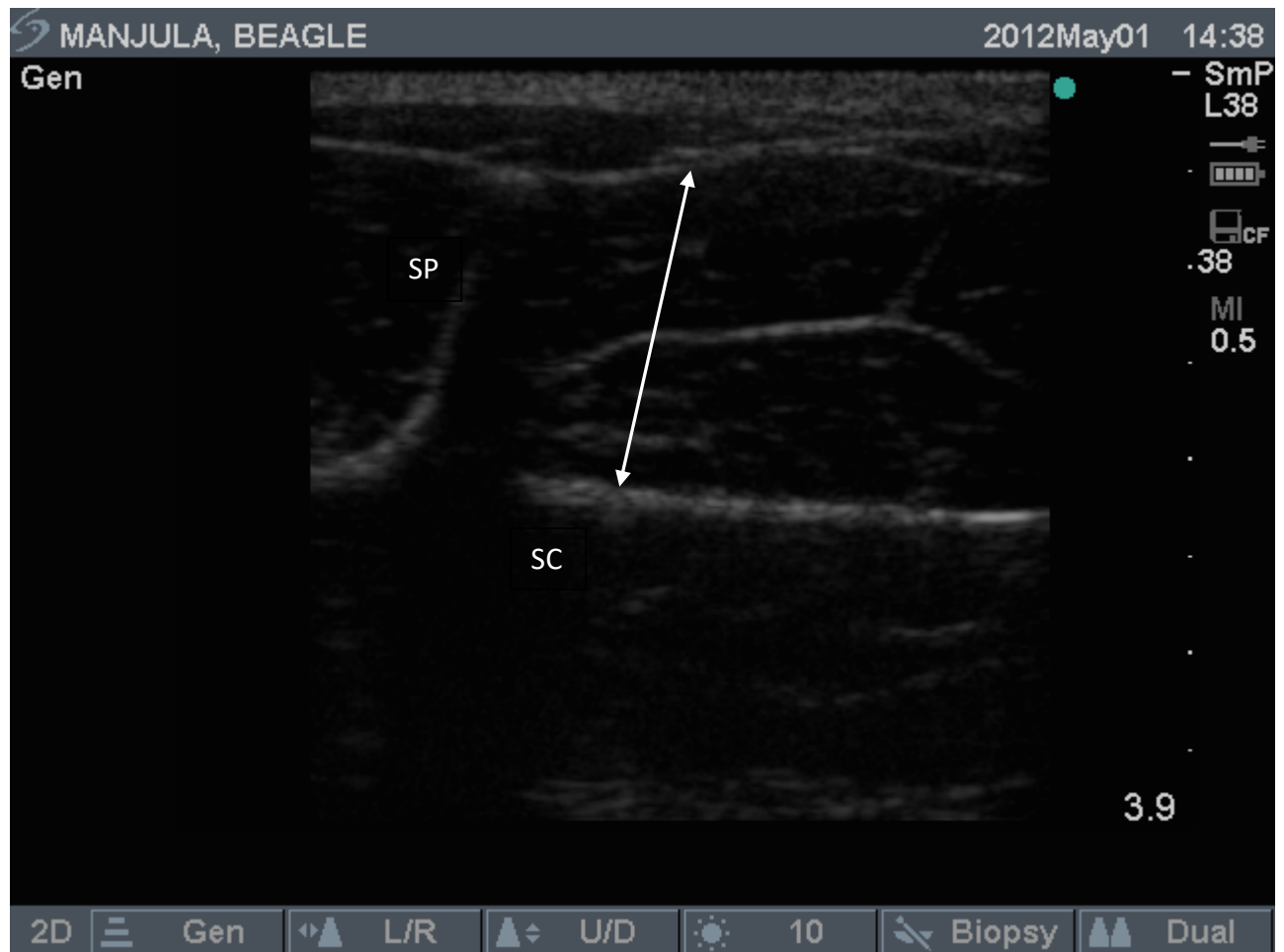


Abbildung 11: Ultraschallbild der Messstelle und Muskeldickenmessung des M. infraspinatus; ventral begrenzt von der Scapula (SC), cranial von der Spina scapulae (SP), dorsal von einem Anteil der Fascia profunda.

M. quadriceps femoris (Abbildung 12):

Am Oberschenkelmuskel wurde die Messlinie vom höchsten Punkt des Femurschaftes senkrecht nach dorsal zur oberen Fascia lata gezogen.

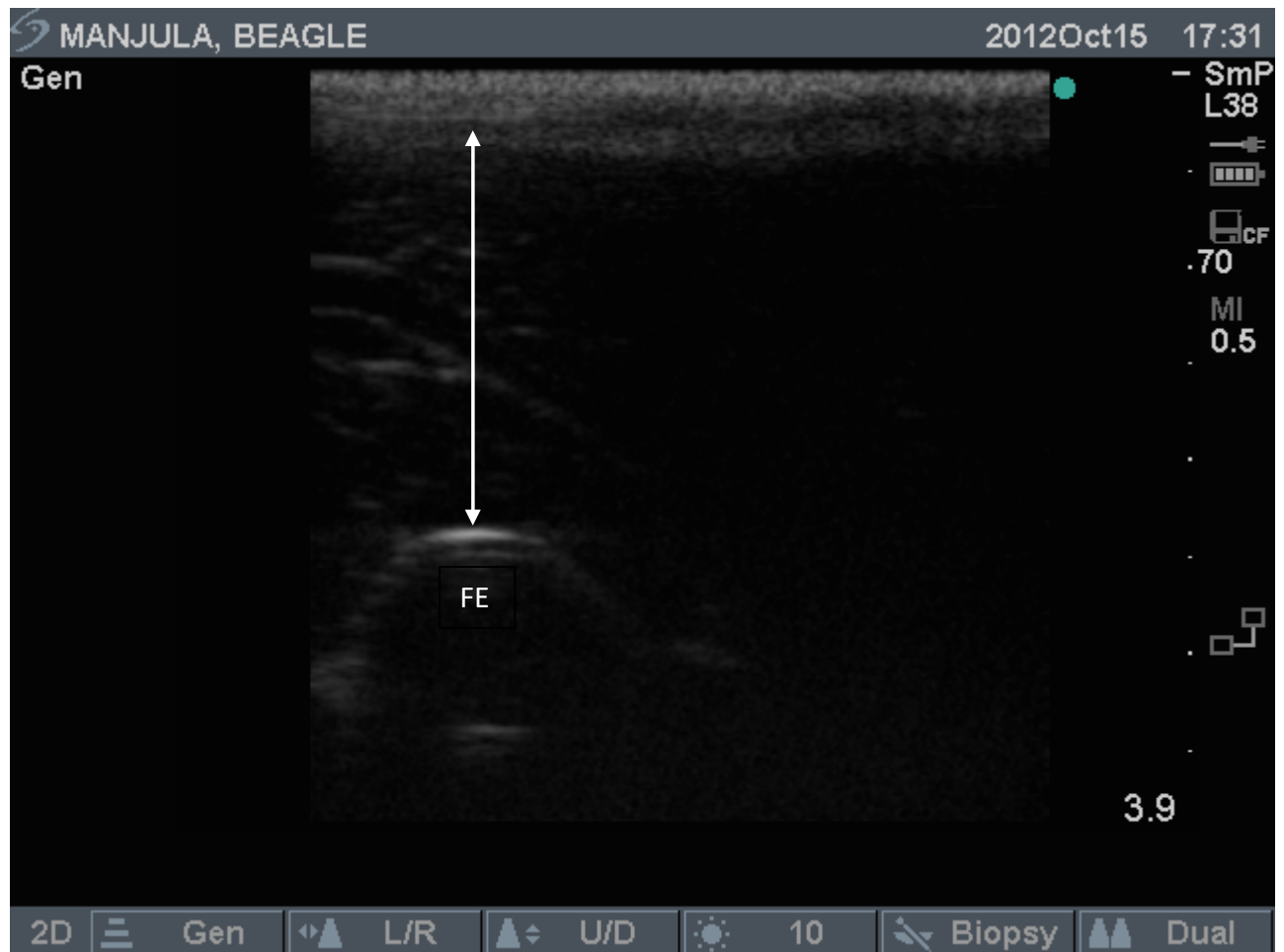


Abbildung 12: Ultraschallbild und Messstelle der Muskeldickenmessung der Muskeln (M. biceps femoris mit Anteilen des M. vastus lateralis) lateral des Femurs (FE).

M. longissimus dorsi (Abbildung 13):

An der Lendenmuskulatur wurde die Muskeldicke zwischen der dorsalen Fläche des Arcus vertebrae und dem dorsalen Ende des Processus spinosus oder der dorsalen Begrenzung durch das Ligamentum nuchae gemessen.

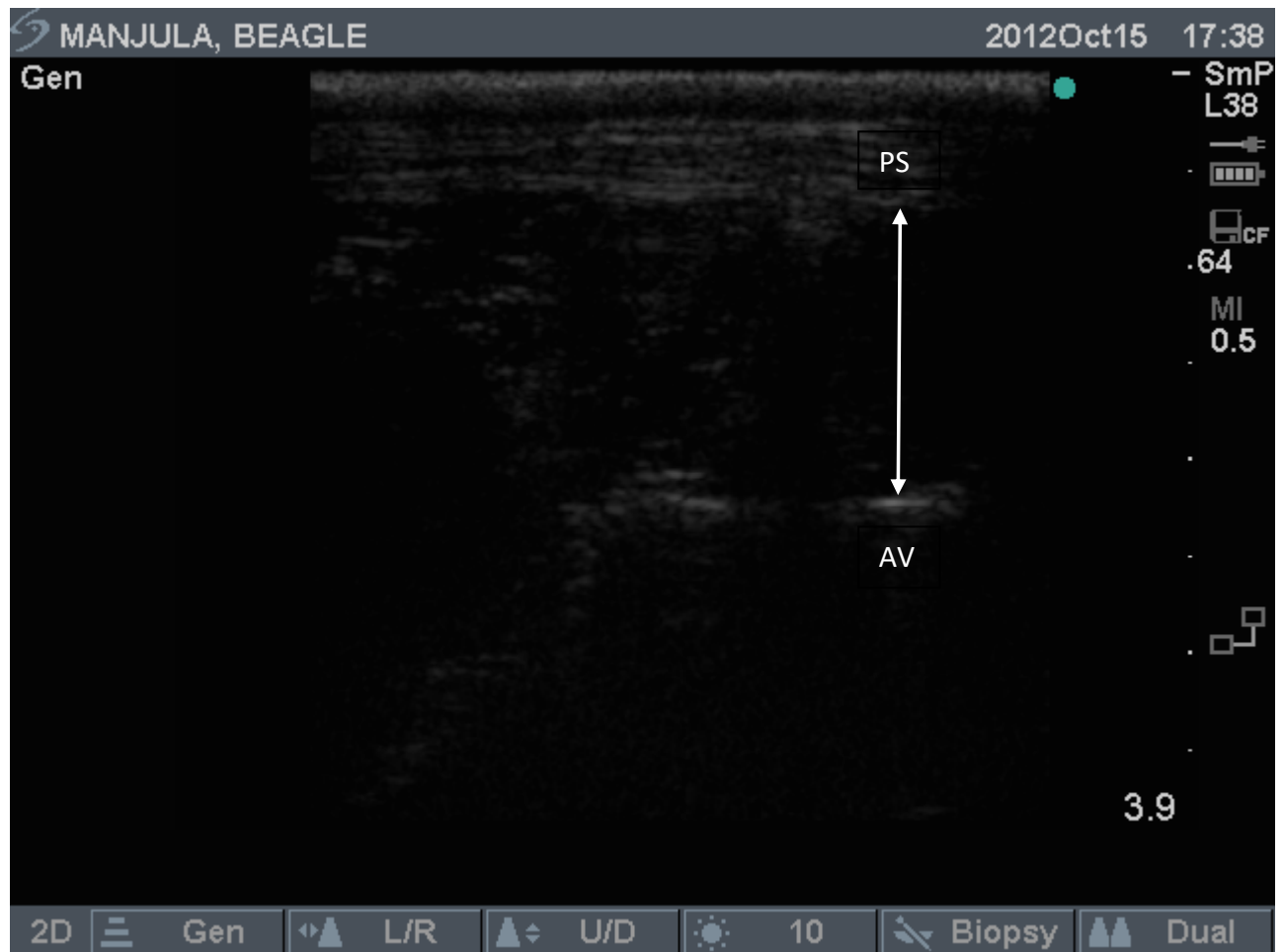


Abbildung 13: Ultraschallbild und Messstelle der Muskeldickenmessung des M. longissimus dorsi; ventral begrenzt vom Arcus vertebrae (AV), dorsal vom oberen Ende des Processus spinosus (PS).

5.3.2 Datenbearbeitung Muskeldickenmessungen

Pro Hund und Messtag wurden für jeden Muskel drei Ultraschallbilder erfasst. Zwischen den Aufzeichnungen wurde die Sonde nicht abgesetzt, sondern auf dem Hund in Position belassen. Mithilfe des Programms „Site Link Image Manager“ wurden die Aufnahmen auf den Computer übertragen und abgespeichert. Dort wurde jedes Bild mit der Software „Image J“ dreimal vermessen. Das Ergebnis als Dickenangabe in Pixel wurde entsprechend

der jeweiligen Eindringtiefe in Zentimeter umgewandelt. Es wurde der Mittelwert für jedes Bild und daraus der Mittelwert für den Messtag errechnet. Aus den Mittelwerten der drei Messtage wurde der Mittelwert für den jeweiligen Muskel ermittelt.

5.4 Aktivitätsmessungen

Um die individuelle Aktivität eines jeden Hundes in jeder Versuchsphase in die Auswertung der Messdaten mit einbeziehen zu können, wurden dreiaxiale Beschleunigungssensoren verwendet (Actical, Philips Healthcare, Hamburg, Deutschland). Das Aktivitätsprofil wurde mithilfe der „Acticals“ erstellt. Es handelte sich um Geräte (Maße: 28 mm x 27 mm x 10 mm, Gewicht: 17 g), die einen piezoelektrischen Beschleunigungsmesser nutzen, um das Auftreten von Bewegung zu überwachen. Dieser Sensor zählt den Grad sowie die Intensität von Bewegung und produziert ein Spannungsausgangssignal. Die Stärke und Dauer des Signals hängt von der Dauer und Intensität der Bewegung ab. Dieser Prozess wird „Digitale Integration“ genannt. Indem exakt die Intensität und das Ausmaß der ungerichteten Bewegung gemessen wurden, lieferten die Daten eine umfassende, quantifizierbare Analyse der körperlichen Aktivität der Tiere. Die Aktivität wurde 32-mal in der Sekunde erfasst (32 Hz) und als „Activity Counts“ (Aktivitäts-Zählungen) wiedergegeben. Die Geräte integrierten dann die Aktivität der Hunde in der festgelegten Epochenlänge von einer Minute. Die Hunde trugen sie während der gesamten Versuchszeit abwechselnd in schützenden, 5 x 3 x 1 cm großen Metallgehäusen (Mini Mitter, Bend, Oregon), die an einer Gliederkette befestigt waren, um den Hals.

Die Datensammlung und Analyse fand mithilfe der zugehörigen Software (Actical Software, Version 2.12, Philips Healthcare, Hamburg, Deutschland) statt. Der zugehörige Actireader (Philips Healthcare, Hamburg, Deutschland) gewährleistete die Kommunikation zwischen Acticals und PC, und ermöglichte das Programmieren und Auslesen der Acticals. Über ein serielles Kabel RS-232 verbunden, fand der Datentransfer zum PC statt. Die Werte wurden als Grafik und als Excel-Tabelle alle zwei Wochen abgespeichert.

Somit konnte die freie Aktivität von allen zehn Hunden erfasst werden.

5.4.1 Datenbearbeitung Aktivitätsmessungen

Die von den Geräten aufgezeichneten Minutenwerte wurden zunächst aufsummiert und die Aktivität pro Stunde ermittelt. Ausgewertet wurden die Daten der Zeiten, in denen sich die

Hunde frei in ihren Ausläufen bewegen konnten. Die Hunde befanden sich in der Regel zwischen 8:00 und 15:30 Uhr in ihren Außenzwingern. Um die Messergebnisse nicht zu verfälschen, wurde nur der Zeitraum zwischen 9:00 und 14:00 Uhr analysiert. Um lediglich die „freie Aktivität“ der Tiere zu erhalten, wurden die Aktivitätswerte, die während des Laufbandtrainings und der Messungen erhalten wurden, von der Analyse ausgeschlossen. Für jeden Hund wurde das Tagesmittel der Aktivität berechnet. Diese Tagesaktivität aller Hunde wurde anschließend über den jeweiligen Versuchszeitraum (Messphasen, Trainingsphase, trainingsfreie Zeit) gemittelt. Außerdem wurde der Einfluss der Wochentage auf die freie Aktivität der Hunde untersucht. Für alle Versuchsphasen wurden „Wochentagsmittel“ berechnet, indem die Tagesaktivität aller einzelnen Wochentage gemittelt wurde. Da sich in dem Vorversuch (Zollner, 2012) eine statistisch signifikant geringere freie Aktivität an den Wochenenden im Vergleich zu den Werktagen ergab, wurde auf eine Auswertung der Samstage und Sonntage verzichtet. Um die Auswirkung der unterschiedlichen Umgebungstemperaturen auf die Bewegung der Tiere feststellen zu können, wurde die Aktivität pro Tag nach der Außentemperatur zusammengefasst (Gruppe A: -10°C bis +5°C, Gruppe B: +5°C bis +20°C, Gruppe C: +20°C bis +30°C). Anschließend wurden die errechneten „Gruppenmittelwerte“ statistisch miteinander verglichen.

5.5 Umgebungstemperaturmessungen

Während aller Versuchsphasen wurde kontinuierlich die Temperatur im Auslauf, Hundestall und am Laufband gemessen. Dazu wurden Temperaturdatenlogger im Knopfzellenformat verwendet. Diese enthielten einen in einem robusten Edelstahlgehäuse gekapselten Mikrochip, hatten einen Durchmesser von ca. 17 mm, eine Höhe von ca. 6 mm und ein Gewicht von fünf Gramm (iButton DS2422, Maxim Integrated Products, Sunnyvale, Kalifornien). Der Messbereich lag zwischen -40°C und +85°C. Die iButtons vereinten Temperaturmessung, Echtzeituhr und Datenspeicherung.

Der Messauftrag wurde so programmiert, dass die Aufzeichnungen in einem festgelegten Intervall von 3600 Sekunden erfolgten.

Die Datenspeicherung fand alle zwei Wochen statt. Die Kommunikation mit den iButtons fand mithilfe einer Software (OneWireViewer, Maxim Integrated Products, Sunnyvale, Kalifornien) statt. Mithilfe dieser konnten die iButtons programmiert und verwaltet werden. Ein spezieller „1-Wire-Adapter“ (DS9490S, Maxim Integrated Products,

Sunnyvale, Kalifornien) wurde auf die USB-Schnittstelle des PCs gesteckt, die elektromechanische Verbindung zum iButton stellte ein Auslesegerät (Blue Dot Receptor) her. Jeder iButton hatte zur Identifizierung eine einmalige und unveränderbare Seriennummer. Die aufgezeichneten Messdaten wurden wahlweise als Diagramm oder Tabelle angezeigt. Das Messprotokoll konnte zur weiteren Verarbeitung als CSV-Datei in Excel exportiert werden. In der Excel-Tabelle waren alle Informationen zum Auftrag und die einzelnen Messwerte gespeichert.

5.5.1 Datenbearbeitung Umgebungstemperaturmessungen

Aus den stündlich aufgezeichneten Temperaturwerten wurden Tagesmittel errechnet und eine Temperaturverlaufskurve erstellt. Um den Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Aktivität der Hunde feststellen zu können, wurde jede Tagesdurchschnittstemperatur des Innen- und Außenbereiches einer Temperaturgruppe zugeordnet (Gruppe A: -10°C bis +5°C, Gruppe B: +5°C bis +20°C, Gruppe C: +20°C bis +30°C).

6. Erweiterte Daten-Analyse

Sowohl der relative Sauerstoffverbrauch als auch die Herzfrequenz (gemessen mittels Polar-Messgerät) der Beagles aus der vorliegenden Studie und der Zollner-Studie (2012) wurden in Abhängigkeit des Trainingszustandes, der Laufgeschwindigkeit sowie der Außentemperatur vom Statistischen Beratungslabor (StaBLab, Institut für Statistik, Ludwig-Maximilians-Universität München) analysiert.

Die Daten wurden von mir folgendermaßen vorbereitet: Für die Korrelation von Herzfrequenz (gemessen mittels Polar-Messgerät) und Sauerstoffaufnahme wurde jeweils für die Geschwindigkeiten 5, 8 und 12 km/h das VO₂-Herzfrequenz-Zwei-Minuten-Mittelwertepaar zur Auswertung herangezogen, das die letzten zwei Minuten eines jeden Fünf-Minuten-Laufes zusammenfasst. Wenn das nicht möglich war, weil Werte fehlten, wurde das nächstfrühere vollständige Zwei-Minuten-Mittelwertepaar verwendet. Bei den Ruhemessungen wurde zunächst der niedrigste VO₂-Zwei-Minuten-Mittelwert der Gesamtmessung gesucht. Der niedrigste, dazugehörige Zwei-Minuten-Mittelwert der Polar-Herzfrequenz wurde dazu gesucht und übernommen. Mithilfe des Körpergewichtes der einzelnen Hunde zum jeweiligen Zeitpunkt wurde aus der absoluten VO₂ [l/min] die relative VO₂ [ml/min/kg] berechnet und der Mittelwert sowohl von der

Sauerstoffaufnahme als auch der Herzfrequenz [Schläge/Minute] der drei Messungen pro Messphase gebildet.

Für eine weitere Darstellung in der Diskussion wurden die Werte der relativen Sauerstoffaufnahme von mir auch auf die metabolische KM der Hunde bezogen [ml/min/kg^{0,75}].

7. Statistische Methoden

Die statistischen Auswertungen und Kalkulationen sowie die graphischen Darstellungen und Tabellen erfolgten mit den Programmen Microsoft Word 2010, Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp., USA), SigmaStat 3.5 (Systat Software Inc., USA), SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc., USA) und R (Version 3.2). Für jeden Parameter wurden der Mittelwert und die Standardabweichung (StaAbw) der jeweiligen Messung gebildet. Für jede Messphase ergaben sich dadurch Gesamtmittelwerte, die untereinander verglichen werden konnten.

Messfehler und Datenausreißer wurden folgendermaßen beseitigt: Bei der Herzfrequenzmessung mittels EKG wurden diese, verursacht durch Unruhe oder Erschrecken der Hunde während der Ruhemessungen durch den sprunghaften Anstieg der Herzfrequenz deutlich, entsprechend gekennzeichnet und vor einer weiteren Auswertung entfernt (Herzfrequenzen in Ruhe über 150 Schläge/Minute). Messfehler bei der Polar-Herzfrequenz, bei denen über fünf Sekunden kein Herzfrequenz Signal empfangen wurde, waren dadurch erkennbar, dass durchgehend die zuletzt empfangene Frequenz angezeigt wurde. Trat bei den Zehn-Sekunden-Mittelwerten mehr als dreimal hintereinander dieselbe Herzfrequenz auf, wurden die weiteren Werte, die dieselbe Herzfrequenz zeigten, als Block herausgefiltert. Bei den respiratorischen Messungen wurden die Werte beseitigt, bei denen, verursacht durch das Hecheln der Hunde, kurzzeitig nicht der gesamte Gasaustausch ermittelt und in Bewegung unter 15 Atemzüge in der Minute angezeigt wurden.

Nachdem die Daten einem Test auf Normalverteilung unterzogen wurden, wurden sie weiter mit einer Varianzanalyse mit einfacher Messwertwiederholung (one way repeated measures ANOVA, Analysis of Variance) untersucht. Inter-Subjekt Faktoren (between

subject factors) wurden nicht auf Signifikanz getestet. Eine post-hoc Analyse (Holm Sidak-Methode) gab mit einem paarweisen Mehrfachvergleichstest Auskunft, welche Mittelwerte sich signifikant voneinander unterschieden. Lag keine Normalverteilung vor, wurde ein nichtparametrischer, verteilungsfreier Test (Mann-Whitney Rangsummentest, rm ANOVA on ranks) oder ein Tukey Test durchgeführt. Auf Steigung und Geradenabschnitt wurden Regressionsgeraden mithilfe einer Kovarianzanalyse (ANCOVA, nach R, 3.2) verglichen. Ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ wurde bei sämtlichen statistischen Untersuchungen angenommen. Es wird im Folgenden in den Grafiken mit „*“ gekennzeichnet.

Eine lineare Korrelation von Polar- bzw. EKG-HF und VO_2 wurde für jeden Trainingszustand („untrainiert I“, „trainiert“, „untrainiert II“) durchgeführt. Ebenso wurde eine Korrelation von EKG-HF und Polar-HF erstellt. Bei allen Regressionsgeraden wurde die Methode der minimalen Abstandsquadrate angewandt und getestet, ob sich die Steigung der Geraden von Null unterscheidet.

Für die Diskussion wurden die eigenen Daten kombiniert mit den Daten von Zollner (2012) und vom Statistischen Beratungslabor (StaBLab) analysiert (Kapitel V, 5):

Die Mitarbeiter im StaBLab haben ein linear gemischtes Modell mit der Zielgröße Sauerstoffverbrauch und den Einflussgrößen Temperatur sowie Trainingszustand (Ausgangslevel, trainierter Zustand und Zustand nach dem Training) und Laufgeschwindigkeit (5, 8 und 12 km/h) unter Berücksichtigung von Messwiederholungen an mehreren Hunden durch einen Random Intercept je Hund gemessen.

Ein entsprechendes Modell wurde ebenfalls für die Zielgröße Herzfrequenz unter Berücksichtigung von Messwiederholungen berechnet.

Zur Datenanalyse wurde das Statistikprogramm R verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Kategoriale Größen wurden mittels ANOVA getestet.

Zusätzlich wurde noch der Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und dem Sauerstoffverbrauch mittels Korrelationsanalyse ermittelt.

IV. ERGEBNISSE

1. Allgemeinbefinden und Gesundheitszustand

Während der gesamten Untersuchungen waren Allgemeinbefinden und Gesundheitszustand aller Hunde durchgehend ungestört.

2. Umgebungstemperaturmessungen

2.1 Innentemperaturen

Über den gesamten Versuchszeitraum verhielten sich die Tagesmittelwerte der Temperaturen in den Hundeställen und am Laufband aufgrund der Klimatisierung der Räume relativ stabil (Abbildung 14). Die Durchschnittstemperatur betrug 20°C. Maximal konnte eine Temperatur von 27°C gemessen werden, als niedrigste Temperatur wurden 15°C gemessen. Auch während der einzelnen Messphasen blieben die Umgebungstemperaturen relativ konstant, es konnten keine signifikanten Temperaturschwankungen festgestellt werden (Tabelle 12). Die gemessenen Temperaturwerte lagen in allen drei Messphasen innerhalb einer kleinen Bandbreite. In Messphase „untrainiert I“ waren 66 % der gemessenen Werte 19, 20 und 21° C, in Messphase „trainiert“ lagen 71 %, in Messphase „untrainiert II“ 76 % der gemessenen Werte bei 19 und 20° C. Daraus ergeben sich sehr ähnliche Versuchsbedingungen während der Testmessungen.

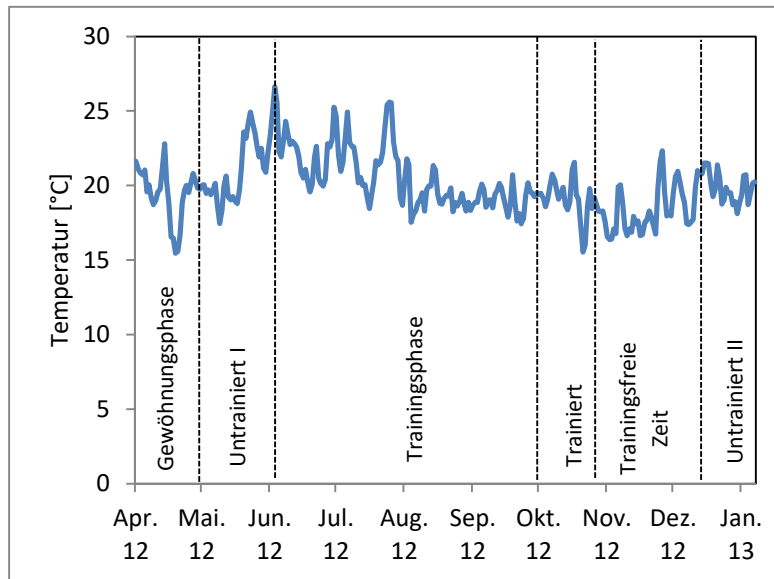


Abbildung 14: Verlaufskurve der Innentemperatur im Stall bzw. Versuchsraum über den gesamten Versuchszeitraum. Die vertikalen Linien kennzeichnen die Versuchsphasen (Gewöhnungsphase, „untrainiert I“, Trainingsphase, „trainiert“, trainingsfreie Zeit, „untrainiert II“).

Tabelle 12: Temperaturmaxima, -minima sowie Mittelwerte (\pm StaAbw) der Innentemperatur im Stall bzw. Versuchsraum während der drei Messphasen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“.

	Maximum [°C]	Minimum [°C]	Temperatur [°C]
Untrainiert I	25	17	$21 \pm 1,9$
Trainiert	21	17	$19 \pm 0,9$
Untrainiert II	21	18	$20 \pm 0,8$

2.2 Außentemperaturen

Da der Versuchszeitraum von Frühjahr bis Winter andauerte, unterlagen die Tagesmittelwerte der Außentemperaturen den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen mit bis zu -5°C im Winter und bis zu $+31^{\circ}\text{C}$ in den Sommermonaten (Abbildung 15). In den jeweiligen Messphasen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ unterschieden sich die gemessenen Temperaturen erheblich (Abbildung 16).

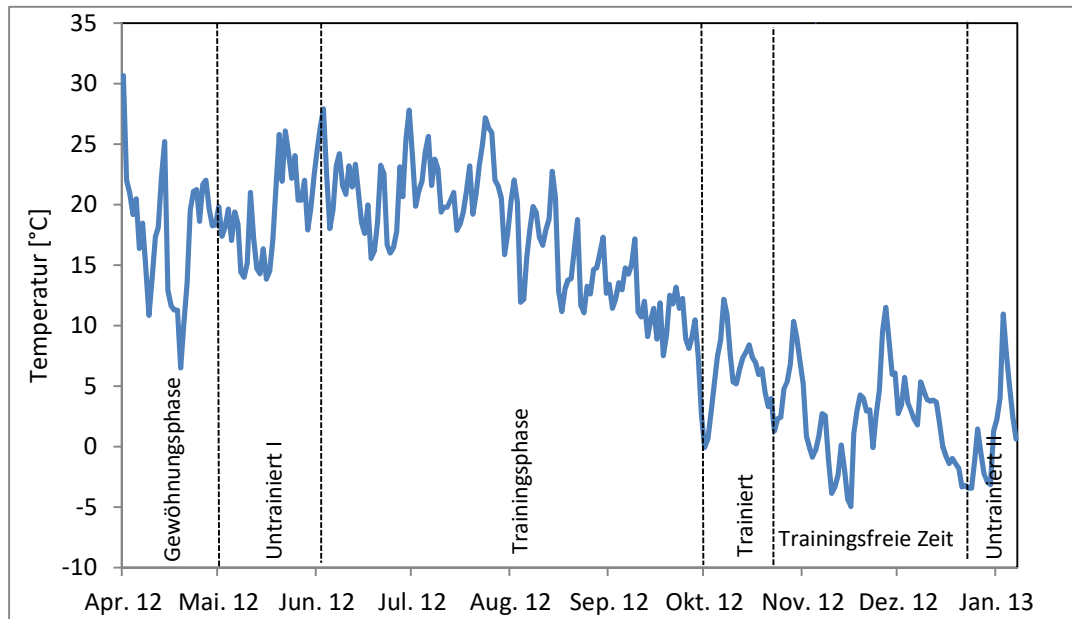


Abbildung 15: Verlaufskurve der Außentemperatur über den gesamten Versuchszeitraum. Die vertikalen Linien kennzeichnen die Versuchsphasen (Gewöhnungsphase, „untrainiert I“, Trainingsphase, „trainiert“, trainingsfreie Zeit, „untrainiert II“).

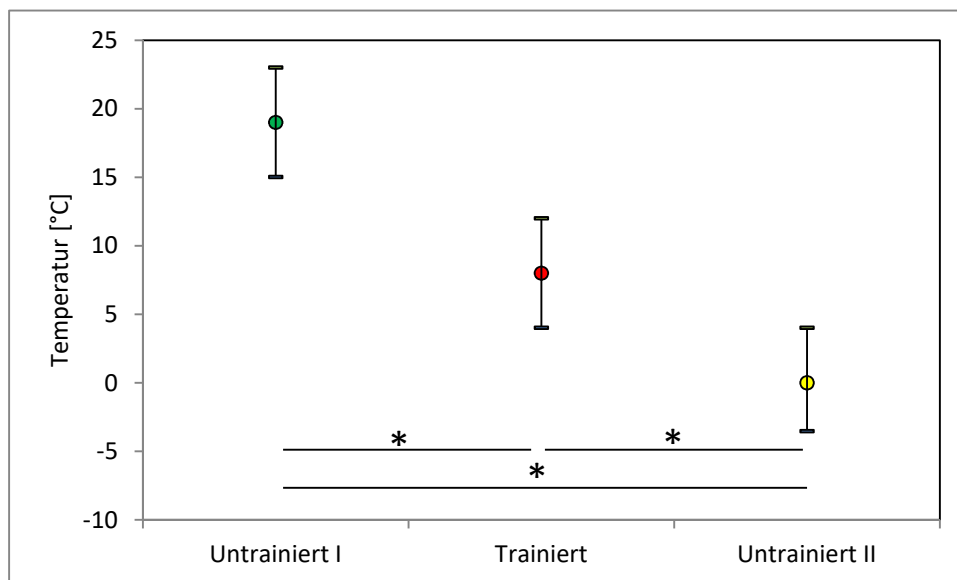


Abbildung 16: Durchschnittliche Außentemperatur [MW ± StaAbw] während der einzelnen Messphasen („untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●), „untrainiert II“ (●)).

3. Körpergewicht, Body Condition Score und Futtermenge

3.1 Körpergewicht

Statistisch getestet wurden die Körpergewichtsänderungen der zehn Hunde in den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“. Eine signifikante Abnahme des Gewichts konnte bei den Hunden in der letzten Messphase („untrainiert II“) im Vergleich zu der Messphase „trainiert“ festgestellt werden ($df = 2$, $F = 4,092$, $p = 0,034$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm Sidak-Test; Abbildung 17).

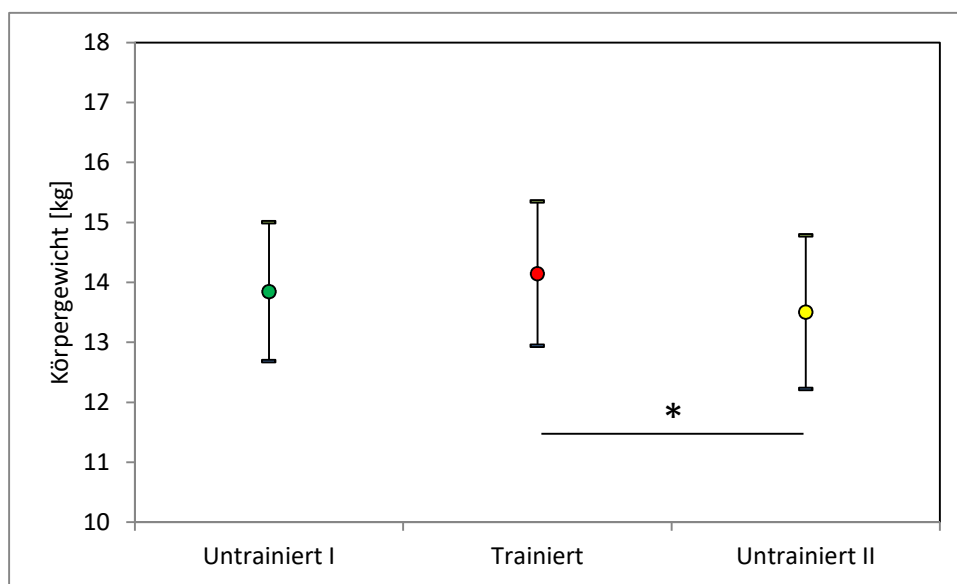


Abbildung 17: Mittleres Körpergewicht der zehn Versuchshunde [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

Das durchschnittliche Körpergewicht der Beagles betrug im Versuchsverlauf $14,0 \pm 0,3$ kg.

3.2 Body Condition Score

Die durchschnittlichen Bewertungen der zehn Hunde nach dem Body Condition Scoring-System während des gesamten Versuchs sind in Abbildung 18 dargestellt.

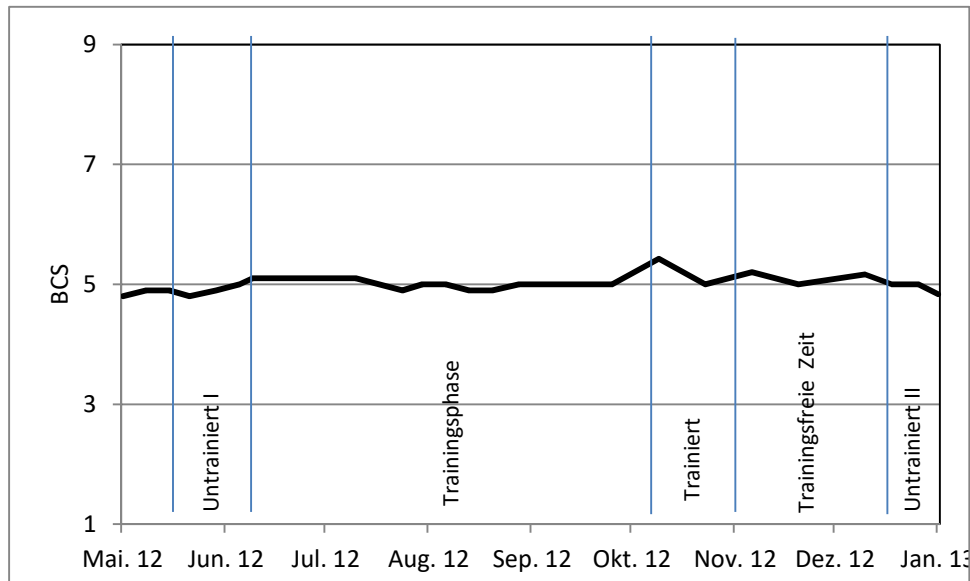


Abbildung 18: Durchschnittlicher Body Condition Score der zehn Hunde im Versuchsverlauf.

Weder das Training noch die trainingsfreie Zeit bewirkten eine statistisch signifikante Veränderung des BCS. Der Mittelwert aller gemessenen BCS-Werte der Hunde lag bei $4,9 \pm 0,1$, also im angestrebten Bereich um BCS 5.

3.3 Futtermenge

Der durchschnittliche Futtereinsatz über den gesamten Versuchszeitraum im Vergleich mit dem durchschnittlichen Körpergewicht der Hunde ist in Abbildung 19 dargestellt. Der durchschnittliche Futtereinsatz war während der Zeit des Trainings am höchsten und unterschied sich signifikant zu dem in der trainingsfreien Zeit und der Messphase „untrainiert II“ (283 g (Training) vs. 257 g (trainingsfreie Zeit) und 266 g (Messphase „untrainiert II“); $df = 4$, $F = 15,570$, $p < 0,001$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test). Alle anderen Phasen unterschieden sich bezüglich des mittleren Futtereinsatzes nicht signifikant.

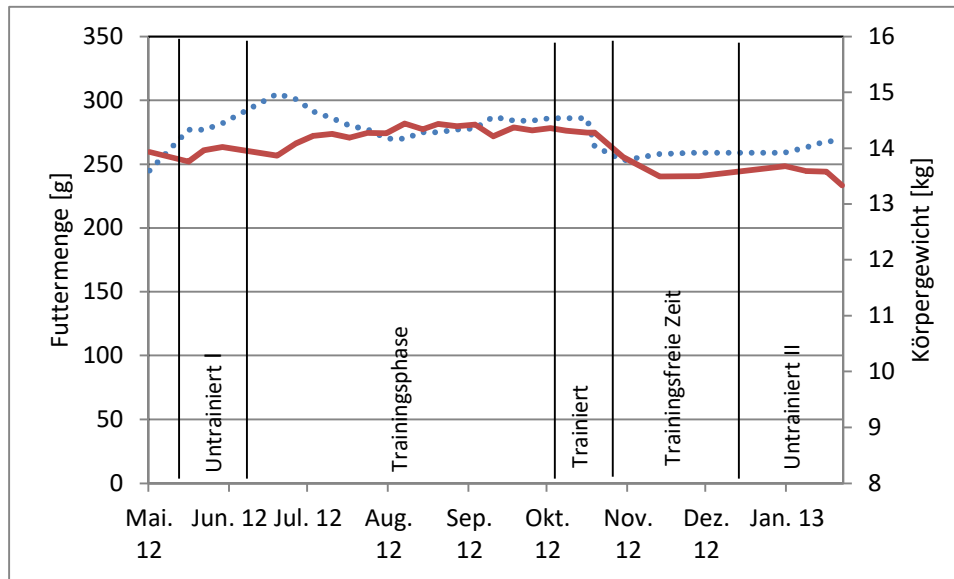


Abbildung 19: Durchschnittlicher Futtereinsatz (●●) und durchschnittliches Körpergewicht (—) der zehn Hunde im Versuchsverlauf.

Die tägliche Futtermenge richtete sich nach dem individuellen Bedarf, der zur Erhaltung des optimalen Ernährungszustandes, gemessen mithilfe des BCS, nötig war.

4. Elektrokardiogramm

Sowohl während der Ruhemessungen als auch während der Schwellentests wurde mittels EKG die Herzfrequenz gemessen und dann zu Zehn-Sekunden-Mittelwerten zusammengefasst. Daraus wurde die mittlere Herzfrequenz der Hunde über den gesamten Testzeitraum in Ruhe und die mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz während der Schwellentests (bei den Geschwindigkeiten 5, 8 und 12 km/h) ermittelt. Bei den Ruhemessungen konnten nur neun Tiere ausgewertet werden, da ein Hund extrem unruhig war. An den Schwellentests nahmen nur sieben Hunde teil, da sich drei Hunde weigerten, mit der Messausrüstung auf dem Laufband bei höheren Geschwindigkeiten zu laufen (Tabelle 6).

4.1 Ruhe-EKG

4.1.1 Mittlere Herzfrequenz

Die mittlere Herzfrequenz in Ruhe (Abbildung 20) stieg bei den Tieren nach dem Training signifikant an ($df = 2$, $F = 12,865$, $p < 0,001$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test). Dieser höhere Wert zeigte sich auch nach zehn Wochen ohne Training.

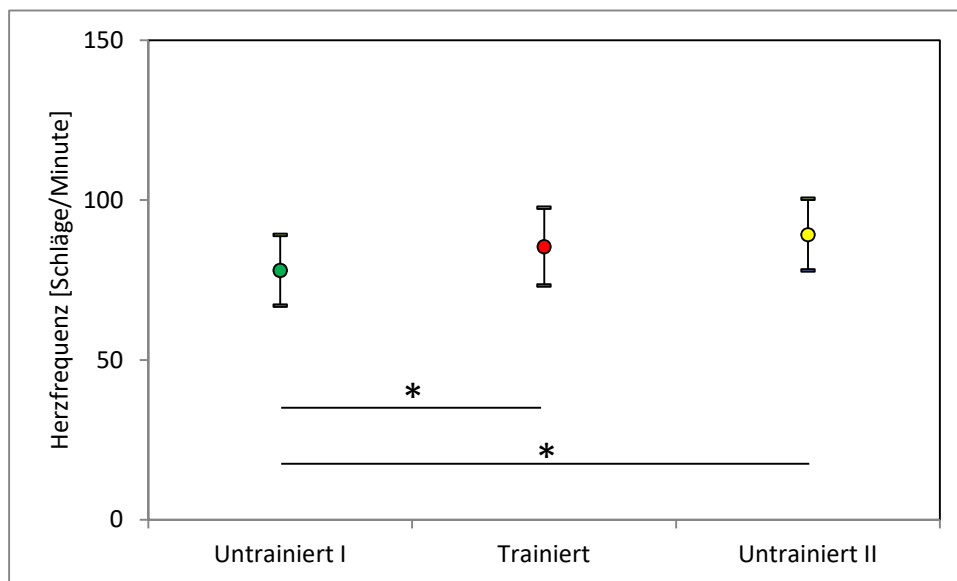


Abbildung 20: Mittlere Herzfrequenzen in Ruhe von neun Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

4.2 Belastungs-EKG

4.2.1 Mittlere Herzfrequenz

Bei den Laufgeschwindigkeiten 5 und 8 km/h ergab die mittlere Herzfrequenz keine Unterschiede zwischen den Trainingszuständen. Eine statistisch signifikant niedrigere mittlere Herzfrequenz wurde bei einer Geschwindigkeit von 12 km/h nach der trainingsfreien Zeit beobachtet im Vergleich zu den Zuständen „untrainiert I“ und „trainiert“ ($df = 2$, $F = 5,682$, $p = 0,018$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test; Abbildung 21).

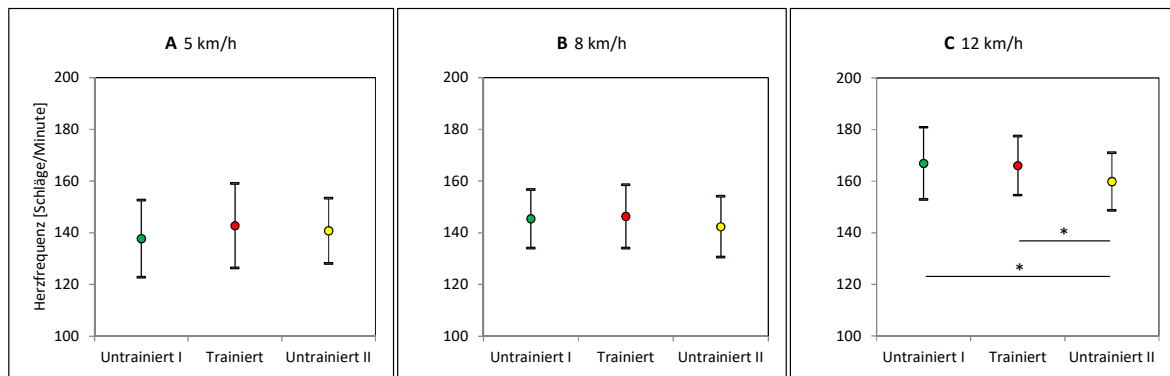


Abbildung 21: Mittlere Herzfrequenzen unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

4.2.2 Maximale Herzfrequenz

Bei einer Laufgeschwindigkeit von 5 km/h kam es zu keinen signifikanten Unterschieden der maximalen Herzfrequenz. Bei 8 km/h konnte eine Abnahme der maximalen Herzfrequenz bei den Tieren im Zustand „untrainiert II“ im Vergleich zu den Tieren im Zustand „untrainiert I“ festgestellt werden ($p = 0,027$, rm ANOVA on ranks; $p < 0,05$, Tukey Test). Das gleiche Ergebnis wurde bei der Geschwindigkeit 12 km/h festgestellt. Zusätzlich wurde eine signifikante Abnahme der maximalen Herzfrequenz im Zustand „untrainiert II“ im Vergleich zu den trainierten Hunden beobachtet ($df = 2$, $F = 5,022$, $p = 0,026$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test; Abbildung 22).

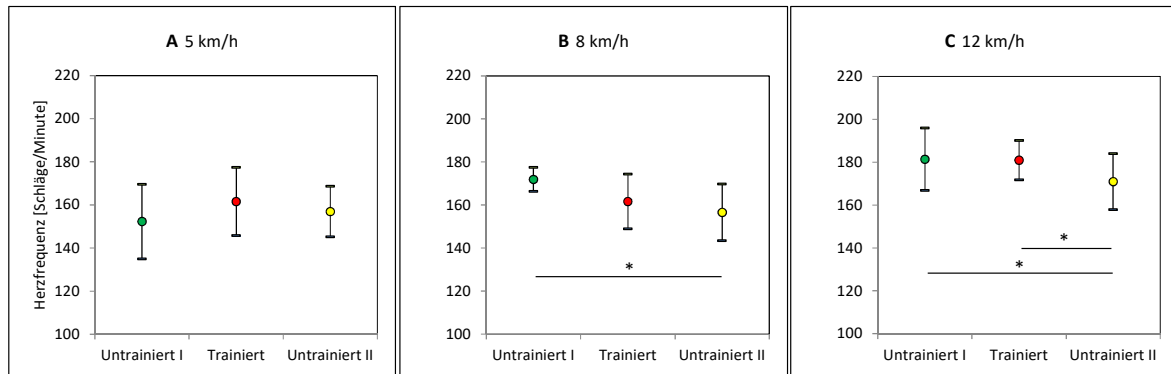


Abbildung 22: Maximale Herzfrequenzen unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

4.2.3 Minimale Herzfrequenz

Die minimale Herzfrequenz ergab bei den Laufgeschwindigkeiten 5 und 8 km/h keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“. Bei 12 km/h wurde eine signifikant höhere minimale Herzfrequenz im trainierten Zustand im Vergleich zu den Hunden im Zustand „untrainiert I“ beobachtet ($df = 2$, $F = 4,760$, $p = 0,030$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test; Abbildung 23).

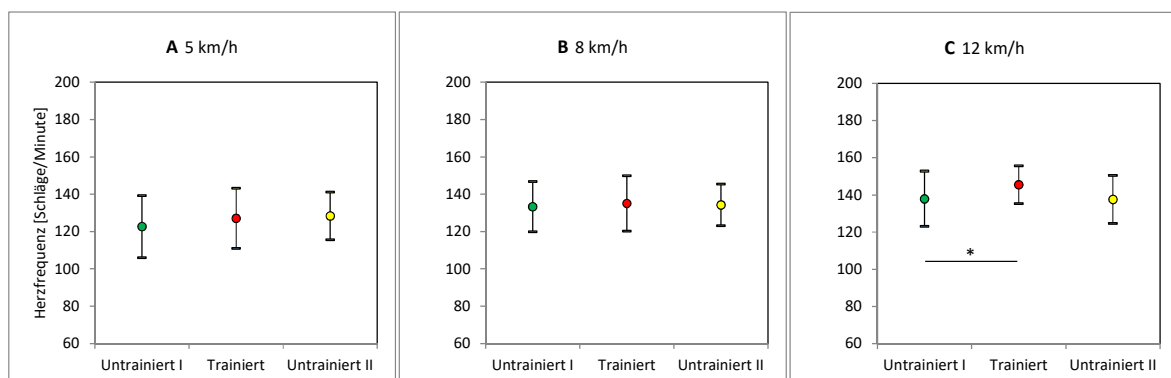


Abbildung 23: Minimale Herzfrequenzen unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

4.3 Korrelation der Herzfrequenz von EKG und Polar-Messgerät

Die Korrelation der vom EKG (x ; Schläge/Minute) und vom Polar-Messgerät (y , Schläge/Minute) synchron gemessenen Herzfrequenzen (Zehn-Sekunden-Mittelwerte) wurde anhand aller Werte, die während der kompletten Schwellentests (bestehend aus Ruhe, 5 km/h, 8 km/h, 12 km/h und Erholung) gemessen wurden, getestet. Die Auswertung der gesamten Herzfrequenzen aller sieben Hunde erfolgte für jede der drei Messphasen („untrainiert I“, „trainiert“, „untrainiert II“).

Im Zustand „untrainiert I“ ergaben sich die Geradengleichung $y = 0,815 x + 28,008$, der Korrelationskoeffizient $R = 0,875$ und das Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,766$ (Abbildung 24). Nach dem Training wurden folgende Werte ermittelt: $y = 0,759 x + 37,938$, $R = 0,828$, $R^2 = 0,685$ (Abbildung 25). Die Gleichung für die Tiere nach der trainingsfreien Zeit lautet: $y = 0,770 x + 35,647$, $R = 0,860$, $R^2 = 0,740$ (Abbildung 26). Die Steigung aller drei Geraden ist signifikant verschieden von Null („untrainiert I“: $F = 7686,11$; $p < 0,0001$; „trainiert“: $F = 7173,55$; $p < 0,0001$; „untrainiert II“: $F = 8148,16$; $p < 0,0001$).

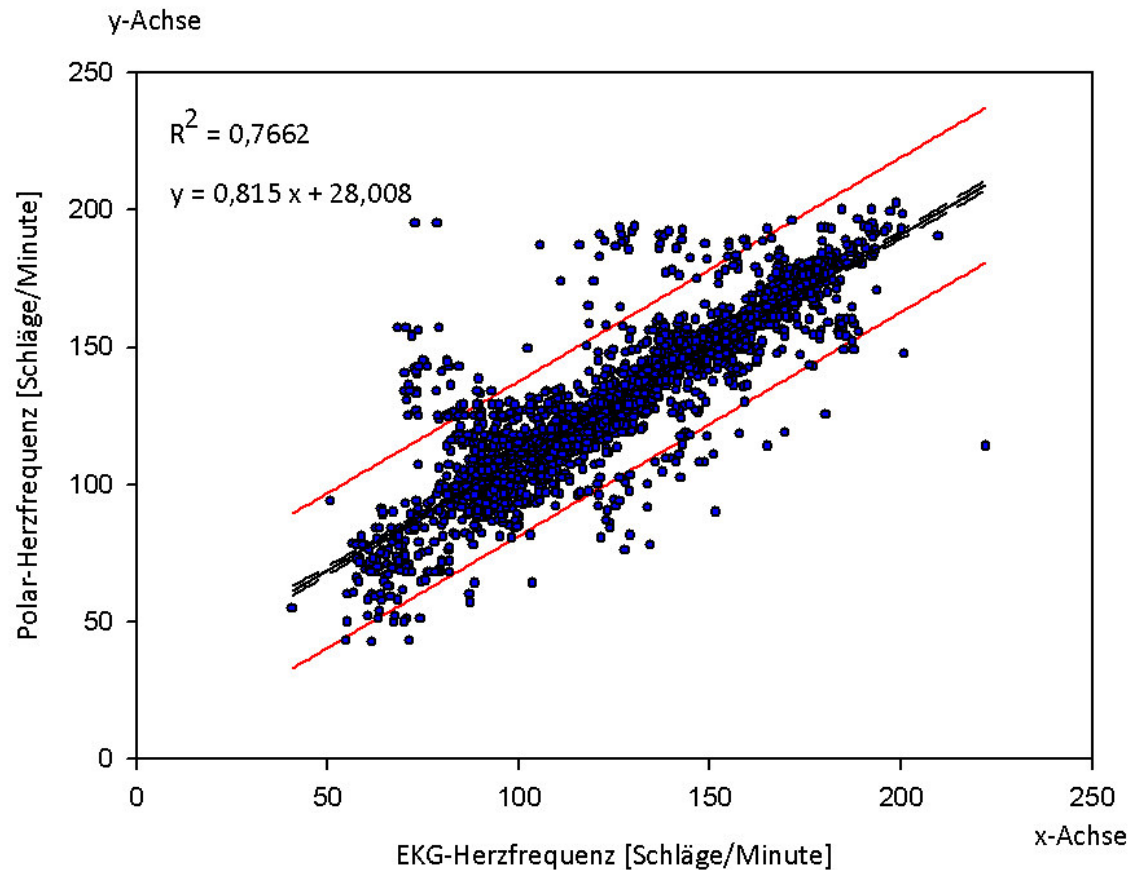


Abbildung 24: Korrelation der vom EKG gemessenen Herzfrequenzen (x; Schläge/Minute) und der vom Polar-Messgerät (y; Schläge/Minute) gemessenen Herzfrequenzen (Zehn-Sekunden-Mittelwerte), die parallel zu den Schwellentests von sieben Hunde im Zustand „untrainiert I“ aufgezeichnet wurden. Regressionsgerade (—) mit Konfidenz- (--) und Vorhersageintervallen (—).

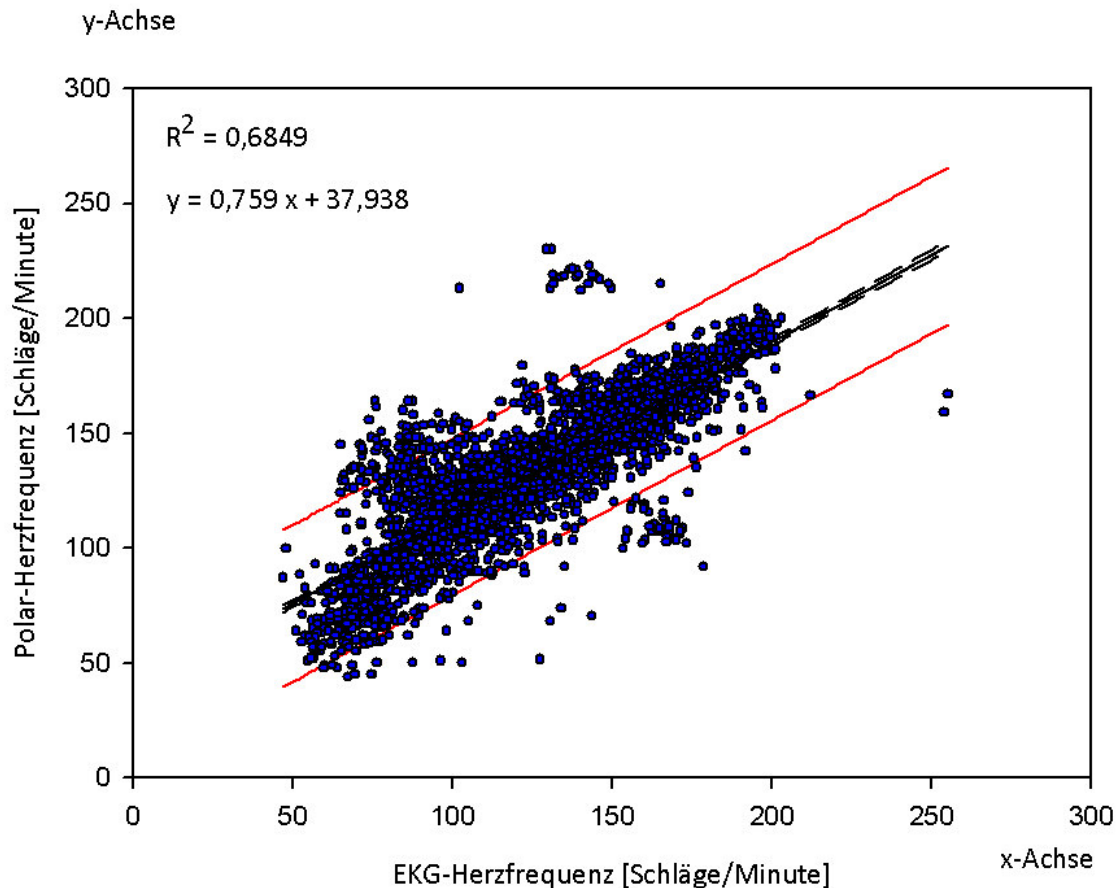


Abbildung 25: Korrelation der vom EKG gemessenen Herzfrequenzen (x; Schläge/Minute) und der vom Polar-Messgerät (y; Schläge/Minute) gemessenen Herzfrequenzen (Zehn-Sekunden-Mittelwerte), die parallel zu den Schwellentests von sieben Hunden im trainierten Zustand aufgezeichnet wurden. Regressionsgerade (—) mit Konfidenz- (--) und Vorhersageintervallen (—).

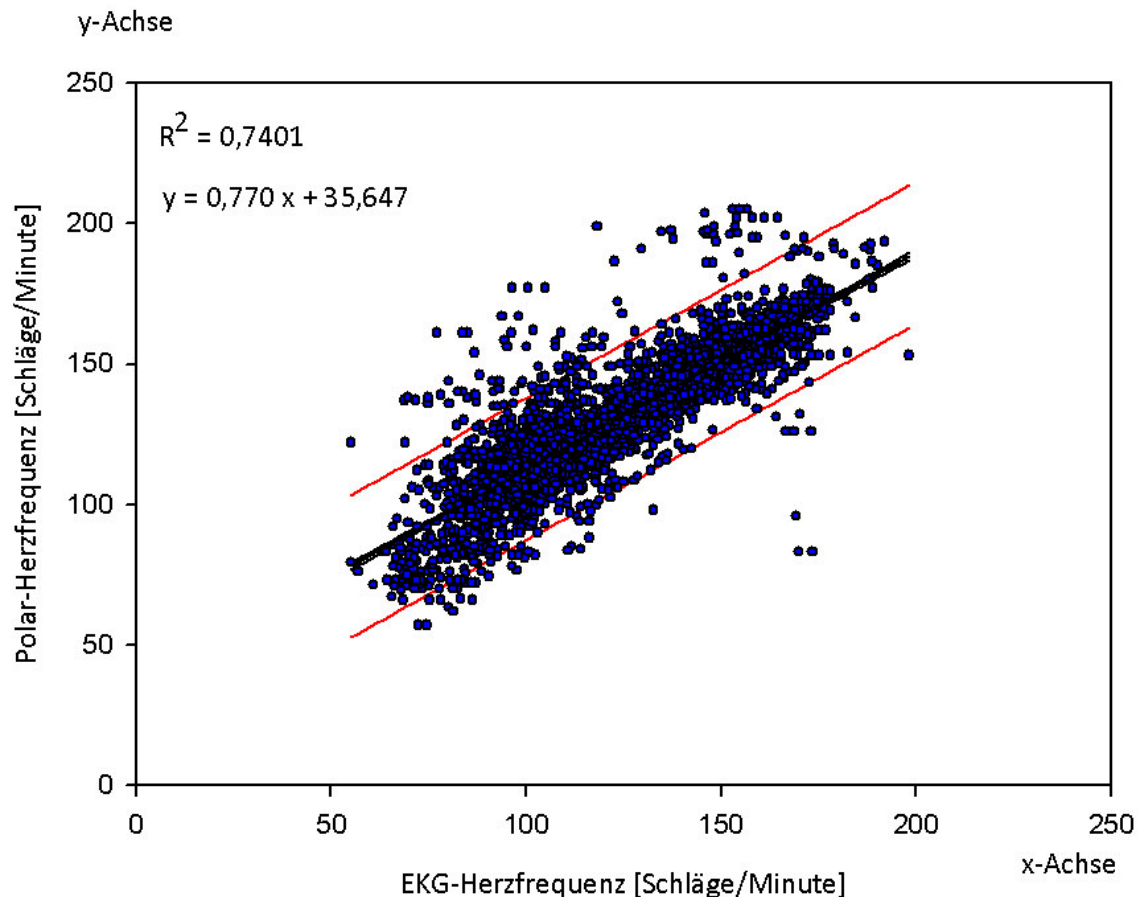


Abbildung 26: Korrelation der vom EKG gemessenen Herzfrequenzen (x; Schläge/Minute) und der vom Polar-Messgerät (y; Schläge/Minute) gemessenen Herzfrequenzen (Zehn-Sekunden-Mittelwerte), die parallel zu den Schwellentests von sieben Hunden im Zustand „untrainiert II“ aufgezeichnet wurden. Regressionsgerade (—) mit Konfidenz- (--) und Vorhersageintervallen (—).

5. Respirometrie

5.1 Sauerstoffaufnahme

Es wurde die absolute Sauerstoffaufnahme [l/min] bestimmt. Um die Sauerstoffaufnahme der einzelnen Hunde besser vergleichen zu können, wurde zusätzlich sowohl die auf die Körpermasse [ml/min/kg] als auch die auf die metabolische Körpermasse [ml/min/kg^{0,75}] bezogene relative Sauerstoffaufnahme ermittelt.

5.1.1 Sauerstoffaufnahme in Ruhe

Durch das Training wurden bei der Messung in Ruhe weder bei der absoluten noch bei der relativen Sauerstoffaufnahme statistisch signifikante Unterschiede im Vergleich zu den untrainierten Zuständen festgestellt (Abbildung 27). Beim Vergleich zwischen den Zuständen „untrainiert I“ und „untrainiert II“ ergab sich ein Anstieg der absoluten Sauerstoffaufnahme ($df = 2$, $F = 5,453$, $p = 0,016$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,005, Holm-Sidak-Test). Die relative Erhöhung der Sauerstoffaufnahme im Vergleich zwischen Hunden in den Zuständen „untrainiert I“ und „untrainiert II“ war dagegen statistisch nicht signifikant.

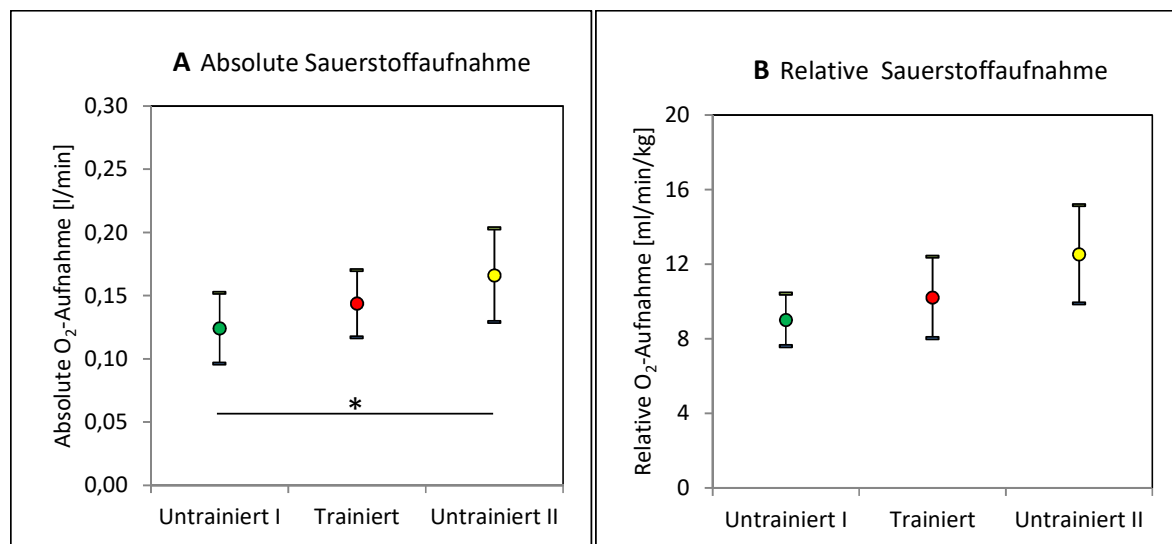


Abbildung 27: Zwei-Minuten-Minima der absoluten (A) und relativen (B) Sauerstoffaufnahme in Ruhe von neun Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

Bei der Sauerstoffaufnahme, die auf die metabolische Körpermasse umgerechnet wurde, konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Zuständen „untrainiert I“ und „trainiert“ festgestellt werden. Es wurde dagegen ein Anstieg der Sauerstoffaufnahme beim Vergleich zwischen den Zuständen „untrainiert I“ und „untrainiert II“ nachgewiesen ($df = 2$, $F = 5,901$, $p = 0,012$, rmANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test; Abbildung 28).

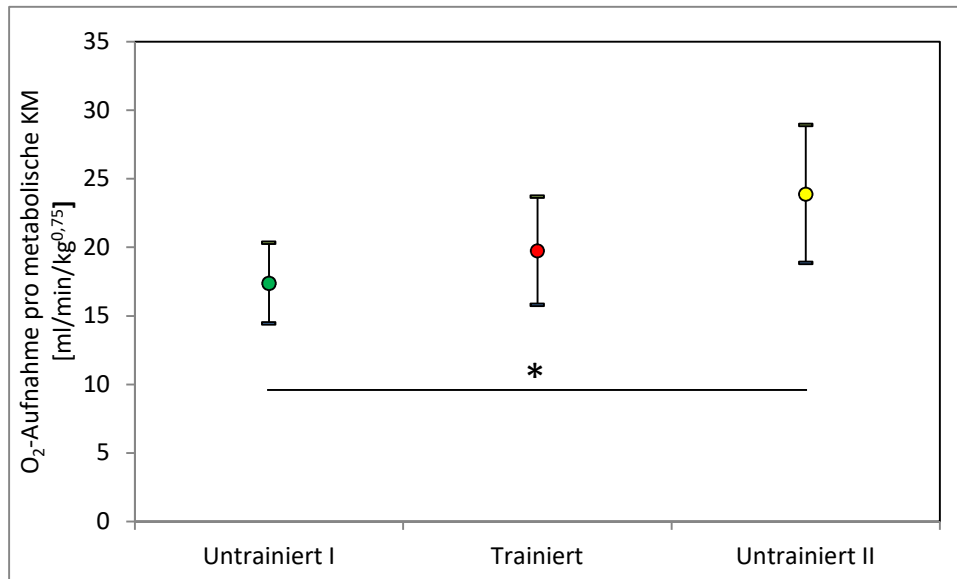


Abbildung 28: Zwei-Minuten-Minima der Sauerstoffaufnahme in Ruhe umgerechnet auf die metabolische Körpermasse von neun Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

5.1.2 Sauerstoffaufnahme unter Belastung

Erwartungsgemäß führt eine Laufleistung geschwindigkeitsabhängig zu einer höheren Sauerstoffaufnahme. Bei keiner der drei Geschwindigkeiten wurden Unterschiede in der absoluten Sauerstoffaufnahme zwischen den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ festgestellt (Abbildung 29).

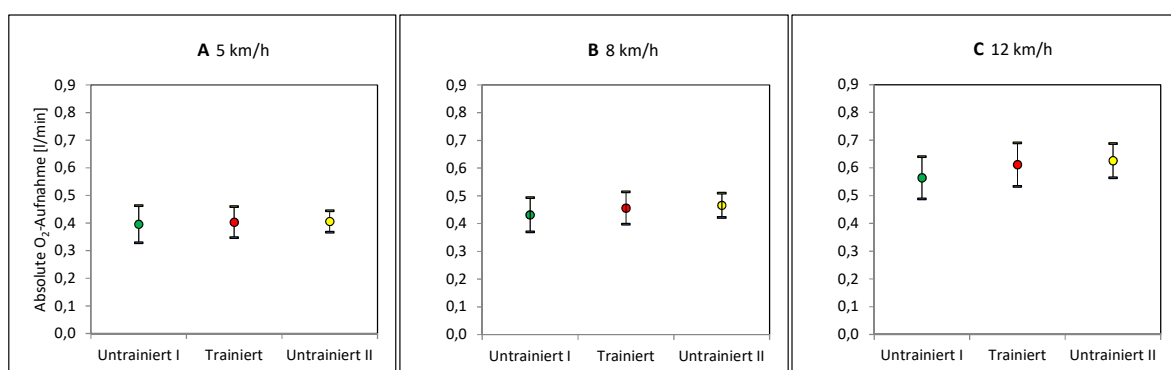


Abbildung 29: Zwei-Minuten-Mittelwerte der absoluten Sauerstoffaufnahme unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

Ebenso verhielt es sich bei der relativen Sauerstoffaufnahme und der Sauerstoffaufnahme, die auf die metabolische Körpermasse der Hunde umgerechnet wurde (Tabelle 13).

Tabelle 13: Zwei-Minuten-Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahme und der Sauerstoffaufnahme umgerechnet auf die metabolische Körpermasse unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“.

	Relative Sauerstoffaufnahme [ml/min/kg]		
	Untrainiert I	Trainiert	Untrainiert II
5 km/h	28,5 \pm 5,0	28,8 \pm 3,3	30,3 \pm 3,0
8 km/h	31,0 \pm 5,2	32,7 \pm 5,1	34,9 \pm 3,9
12 km/h	40,7 \pm 4,8	44,0 \pm 6,1	46,8 \pm 3,8
	Sauerstoffaufnahme [ml/min/kg ^{0,75}]		
	Untrainiert I	Trainiert	Untrainiert II
5 km/h	55,1 \pm 9,3	55,5 \pm 5,9	57,9 \pm 5,4
8 km/h	59,8 \pm 9,6	63,0 \pm 8,5	66,7 \pm 6,8
12 km/h	78,5 \pm 9,1	84,8 \pm 10,5	89,5 \pm 7,1

5.1.3 Verhältnis von Ruhe- zu Leistungsstoffwechsel

Um das Verhältnis des Ruhe- (RMR) zum Leistungsstoffwechsel (MR) zu erhalten, wurde der Quotient MR/RMR gebildet. Dazu wurden die während des Schwellentests bei 12 km/h erreichte mittlere Sauerstoffaufnahme (VO₂, Werte, die die letzten zwei Minuten beinhalten, MR) sowie die minimale Sauerstoffaufnahme in Ruhe (VO₂, Zwei-Minuten-Minima, RMR) zueinander ins Verhältnis gesetzt. Die Berechnung erfolgte zunächst für jeden Hund einzeln aus den Mittelwerten der drei Messphasen („untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“). Im Anschluss daran wurden diese Werte gemittelt über alle Messphasen durchgeführt. Für alle sieben Hunde ergab sich durch die definierte Aktivität eine mittlere Erhöhung der Stoffwechselrate auf das 4-fache des Ruhestoffwechsels (Tabelle 14).

Tabelle 14: Minimale Sauerstoffaufnahme [l/min] in Ruhe (RMR) und mittlere Sauerstoffaufnahme [l/min] in Belastung (MR, Schwellentest, 12 km/h) während der drei Messphasen und Verhältnis von Ruhe- zu Leistungsstoffwechsel (MR/RMR) [MW \pm StaAbw].

Hund	RMR	MR	MR/RMR
	[l/min]	[l/min]	
Anni	0,1	0,5	4,5
Holly	0,2	0,6	4,2
Manjula	0,1	0,6	4,5
Möhre	0,1	0,7	4,8
Schoko	0,2	0,5	3,6
Umbra	0,1	0,6	4,5
Wendy	0,2	0,6	4,0
MW	0,1	0,6	4,3
StaAbw	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$

5.1.4 Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

Die wechselseitige Beziehung zwischen der Herzfrequenz und der relativen Sauerstoffaufnahme wurde durch die Berechnung einer Regression mit Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) als unabhängige Variable und Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg) als abhängige Variable getestet. Hierbei wurden alle Daten der Ruhemessungen und der Belastungstests (Schwellentest/ Stufentest) bei den Geschwindigkeiten 5, 8 und 12 km/h (Schwellentest) bzw. 3, 7 und 10 km/h (Stufentest) je Trainingszustand separat getestet. Die Herzfrequenz wurde bei den Ruhemessungen und den Schwellentests parallel mit dem Polar-Messgerät (Abbildungen 42 – 44 im Anhang) und dem EKG (Abbildungen 45 – 47 im Anhang) bestimmt. Eine Korrelation mit der Sauerstoffaufnahme wurde mit den Werten beider Messmethoden getestet.

5.1.4.1 Korrelation Polar-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

Für die Bestimmung der Korrelation Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg) wurden die Daten der Ruhemessungen, Schwellentests und Stufentests verwendet (Abbildungen 42 – 44 im Anhang). Die Steigung der Geraden ist signifikant verschieden von Null („*untrainiert I*“: $F = 50,89$; $p < 0,0001$; „*trainiert*“: $F = 84,95$; $p < 0,0001$; „*untrainiert II*“: $F = 77,93$; $p < 0,0001$). Siehe Tabelle 15.

Tabelle 15: Korrelation Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und relative O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) von sieben Hunden. Geradengleichung, Korrelationskoeffizient (R) und Bestimmtheitsmaß (R²) der Regressionsgeraden in den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“.

Messphase	Geradengleichung	Korrelationskoeffizient	Bestimmtheitsmaß
		[R]	[R ²]
Untrainiert I	$y = 0,292 x - 8,383$	0,736	0,542
Trainiert	$y = 0,327 x - 16,419$	0,809	0,654
Untrainiert II	$y = 0,381 x - 19,137$	0,799	0,639

5.1.4.2 Korrelation EKG-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

Für die Bestimmung der Korrelation EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und Sauerstoffaufnahme (y; Schläge/Minute) wurden die Werte aus den Ruhemessungen und den Schwellentests verwendet (Abbildungen 45 – 47 im Anhang). Die Steigung der Geraden ist signifikant verschieden von Null („*untrainiert I*“: $F = 71,97$; $p < 0,0001$; „*trainiert*“: $F = 170,38$; $p < 0,0001$; „*untrainiert II*“: $F = 97,97$; $p < 0,0001$). Siehe Tabelle 16.

Tabelle 16: Korrelation EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und relative O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) von sieben Hunden. Geradengleichung, Korrelationskoeffizient (R) und Bestimmtheitsmaß (R²) der Regressionsgeraden in den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“.

Messphase	Geradengleichung	Korrelationskoeffizient	Bestimmtheitsmaß
		[R]	[R ²]
Untrainiert I	$y = 0,274 x - 7,716$	0,857	0,735
Trainiert	$y = 0,334 x - 15,063$	0,931	0,868
Untrainiert II	$y = 0,375 x - 17,992$	0,889	0,790

5.1.5 Vergleich der Korrelation beider Herzfrequenz-Messmethoden mit der Sauerstoffaufnahme

Die Korrelationen EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg) und Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg) wurden dargestellt (Abbildung 30). Hierbei wurden die Daten der Ruhemessungen und der Schwellentests bei den Geschwindigkeiten 5, 8 und 12 km/h von sieben Hunden in allen drei Trainingszuständen verwendet (Tabelle 17). Der Stufentest wurde bei der Auswertung herausgenommen, da bei diesem Belastungstest die Herzfrequenz nur mittels Polar-Messgerät aufgezeichnet wurde. Die Steigung beider Geraden ist signifikant verschieden von Null (*EKG*: $F = 283,20$; $p < 0,0001$; *Polar-Messgerät*: $F = 181,61$; $p < 0,0001$).

Tabelle 17: Geradengleichung, Korrelationskoeffizient (R) und Bestimmtheitsmaß (R^2) der Korrelationen zwischen der jeweiligen Methode der Herzfrequenzmessung (x; Schläge/Minute) und der relativen Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg).

Methode der Herzfrequenz-Messung	Geradengleichung	Korrelationskoeffizient	Bestimmtheitsmaß
		[R]	[R^2]
EKG	$y = 0,320 x - 12,538$	0,881	0,775
Polar-Messgerät	$y = 0,325 x - 15,138$	0,832	0,692

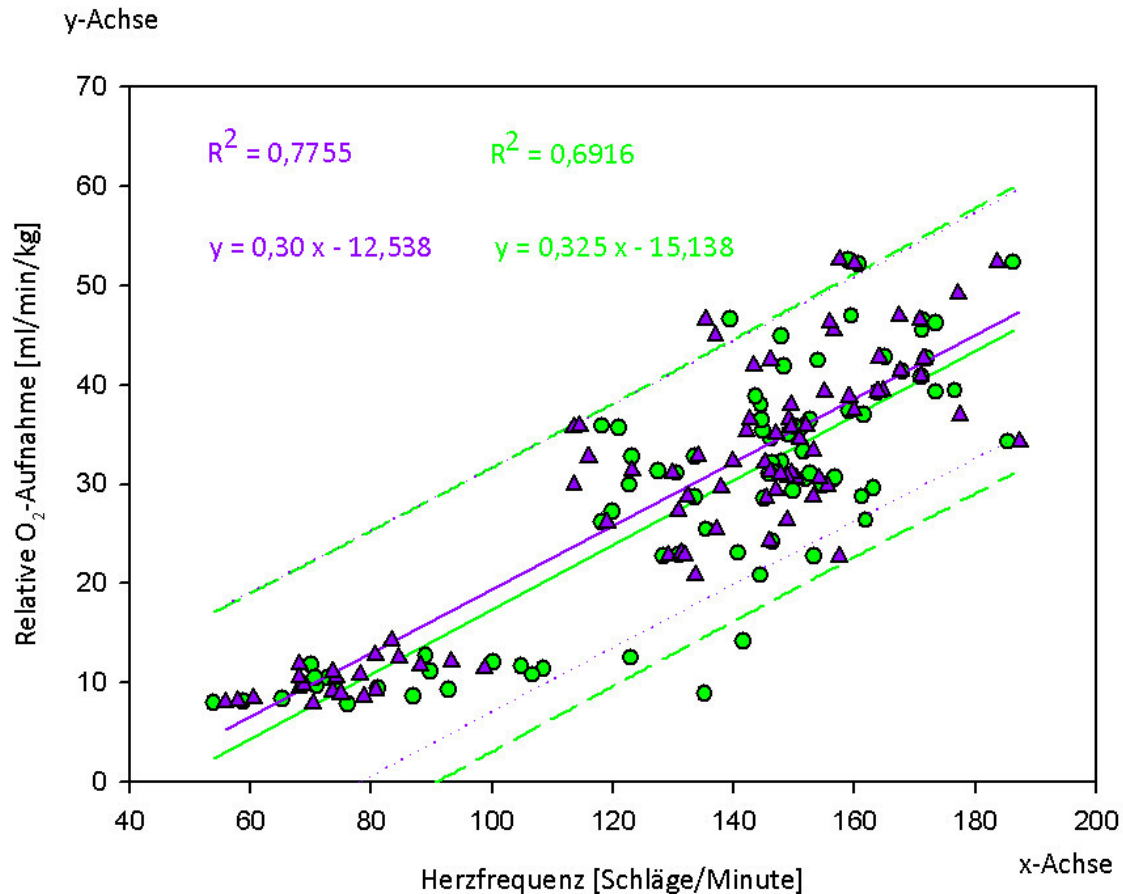


Abbildung 30: Korrelation zwischen Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und relativer Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg) bei sieben Hunden in allen drei Trainingszuständen. Regressionsgerade (—) mit Vorhersageintervallen (--) für EKG-Messung (▲); Regressionsgerade (—) mit Vorhersageintervallen (--) für Polar-Messung (●).

Beide Geradengleichungen wurden mithilfe einer Kovarianzanalyse (ANCOVA, nach R, 3.2) in Steigung und Lage verglichen. Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Steigung festgestellt werden. Bezüglich der Lage der Geraden unterscheiden sich die beiden Geraden signifikant ($F = 4,95$; $p = 0,0275$).

5.2 Atemfrequenz

5.2.1 Atemfrequenz in Ruhe

Bei der Atemfrequenz in Ruhe (Tabelle 18) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingszuständen (rm ANOVA).

Tabelle 18: Zwei-Minuten-Minima [MW \pm StaAbw] der Atemfrequenz in Ruhe von neun Hunden in den jeweiligen Messphasen.

Messphase	Atemfrequenz [l/min]
Untrainiert I	14,7 \pm 3,8
Trainiert	13,7 \pm 2,5
Untrainiert II	13,0 \pm 2,7

5.2.2 Atemfrequenz unter Belastung

Die Atemfrequenz zeigte unter Belastung in den jeweiligen Messphasen bei allen Laufgeschwindigkeiten statistisch signifikante Veränderungen (Abbildung 31).

Im Zustand „trainiert“ kam es bei 5, 8 und 12 km/h zu einer statistisch signifikant niedrigeren Atemfrequenz. Ein weiterer Abfall konnte nach der trainingsfreien Zeit bei der Laufgeschwindigkeit 5, 8 und 12 km/h beobachtet werden. Entsprechend wurde bei allen drei Geschwindigkeiten eine statistisch signifikante Abnahme der Atemfrequenz beim Vergleich zwischen den Messphasen „untrainiert I“ und „untrainiert II“ ermittelt.

(5 km/h: df = 2, F = 25,959, p < 0,001; 8 km/h: df = 2, F = 18,495, p < 0,001; 12 km/h: df = 2, F = 27,805, p < 0,001, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05; Holm-Sidak-Test).

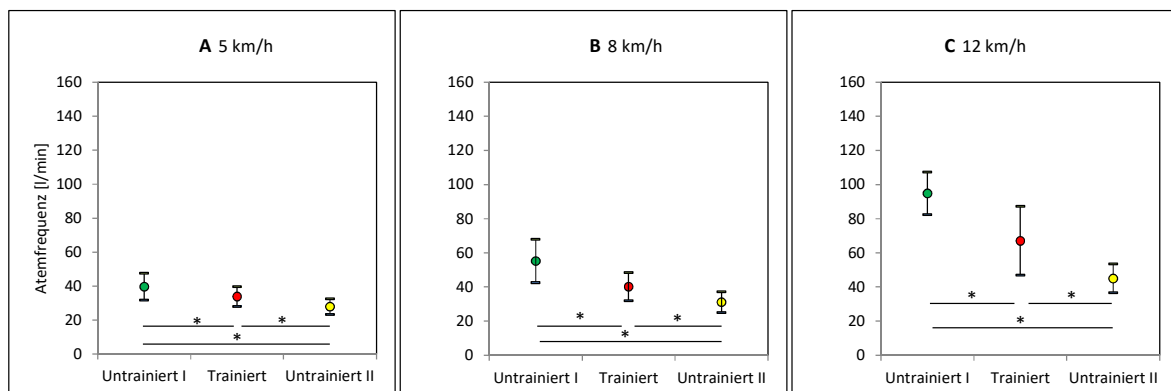


Abbildung 31: Zwei-Minuten-Mittelwerte der Atemfrequenz unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

5.3 Atemminutenvolumen

5.3.1 Atemminutenvolumen in Ruhe

Beim Vergleich der Messphasen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ ergaben sich keine statistisch signifikanten Veränderungen des Atemminutenvolumens in Ruhe (Tabelle 19).

Tabelle 19: Zwei-Minuten-Minima [MW \pm StaAbw] des Atemminutenvolumens in Ruhe von neun Hunden in den jeweiligen Messphasen.

Messphase	Atemminutenvolumen [l/min]
Untrainiert I	3,6 \pm 1,0
Trainiert	4,1 \pm 0,8
Untrainiert II	4,3 \pm 1,2

5.3.2 Atemminutenvolumen unter Belastung

Im Zustand „trainiert“ kam es bei der Geschwindigkeit 12 km/h zu einem statistisch signifikant niedrigeren Atemminutenvolumen. Ein noch niedrigeres Atemminutenvolumen konnte bei dieser Geschwindigkeit nach der trainingsfreien Zeit beobachtet werden. Beim Vergleich der ersten („untrainiert I“) mit der letzten Messphase („untrainiert II“) konnte bei allen Laufgeschwindigkeiten ein statistisch signifikant niedrigeres Atemminutenvolumen festgestellt werden.

(5 km/h: df = 2, F = 4,060, p = 0,045, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test; 8 km/h: p = 0,008, rm ANOVA on ranks; p < 0,05, Tukey Test; 12 km/h: df = 2, F = 21,502, p < 0,001, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm Sidak-Test; Abbildung 32).

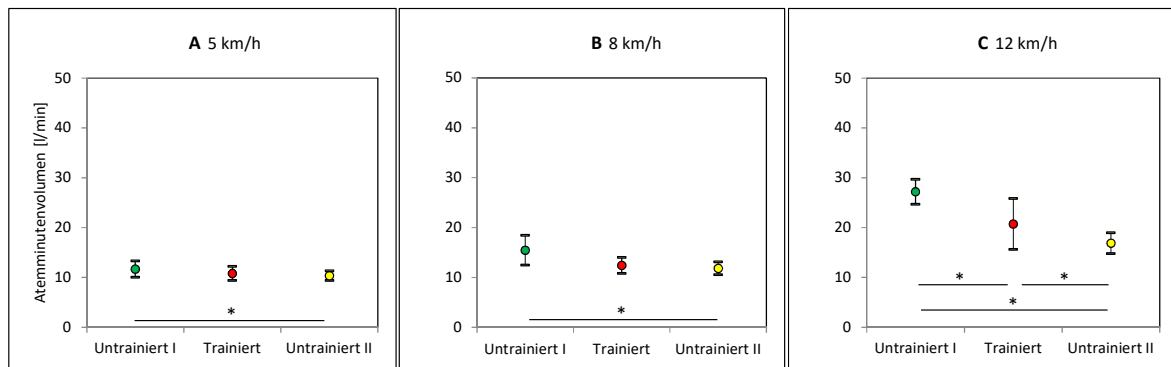


Abbildung 32: Zwei-Minuten-Mittelwerte des Atemminutenvolumens unter Belastung von sieben Hunden [MW \pm StaAbw] im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●).

6. Muskeldicken

Bei einem der zehn Hunde konnte aufgrund von Unruhe keine gute Reproduzierbarkeit der Messung gewährleistet werden (Tabelle 6). Daher wurden nur neun Tiere in die Auswertung einbezogen (Tabelle 5).

Training bewirkte bei den vermessenen Muskeln eine statistisch signifikante Zunahme der Muskeldicke. Nach der trainingsfreien Zeit konnte eine statistisch signifikante Dickenabnahme der Muskeln der Extremitäten gegenüber dem trainierten Zustand festgestellt werden. Am *M. longissimus dorsi* konnte nach der trainingsfreien Zeit keine signifikante Veränderung der Muskeldicke beobachtet werden (Tabelle 20).

(*M. supraspinatus*: $p = 0,016$, rm ANOVA on ranks, $p < 0,05$, Tukey Test; *M. infraspinatus*: $df = 2$, $F = 13,714$, $p < 0,001$, rm ANOVA, allgemeines Signifikanzniveau = $0,05$, Holm-Sidak-Test; *M. biceps femoris*: $df = 2$, $F = 13,161$, $p < 0,001$, rm ANOVA, allgemeines Signifikanzniveau = $0,05$, Holm-Sidak-Test; *M. longissimus dorsi*: $p = 0,019$, rm ANOVA on ranks, $p < 0,05$, Tukey Test)

Tabelle 20: Muskeldicken [MW \pm StaAbw] von neun Hunden in den Zuständen „untrainiert I“, „trainiert“, „untrainiert II“.

Muskeldicken [mm]			
	Untrainiert I	Trainiert	Untrainiert II
M. supraspinatus	18,0 \pm 0,5 ^a	18,3 \pm 0,6 ^b	17,9 \pm 0,3 ^a
M. infraspinatus	18,1 \pm 0,5 ^a	18,4 \pm 0,5 ^b	18,1 \pm 0,5 ^a
M. biceps femoris	17,9 \pm 0,4 ^a	18,2 \pm 0,5 ^b	17,9 \pm 0,4 ^a
M. longissimus dorsi	14,2 \pm 0,2 ^a	14,4 \pm 0,2 ^b	14,2 \pm 0,2 ^{ab}

Mittelwerte einer Reihe, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant.

7. Aktivitätsmessungen

7.1 Aktivität an den verschiedenen Wochentagen

Ein Vergleich der Tagesmittelwerte aller Werktage (rm ANOVA on ranks) ergab, dass sich die Aktivität der zehn Hunde von Montag bis Freitag nicht statistisch signifikant voneinander unterschied (Tabelle 21).

Tabelle 21: Aktivität [Activity counts/Stunde; MW \pm StaAbw] der Werktage Montag bis Freitag der zehn Hunde während des gesamten Versuchszeitraums.

Wochentag	Aktivität [Activity counts/Stunde]
Montag	47558 \pm 21650
Dienstag	41062 \pm 21605
Mittwoch	47007 \pm 18407
Donnerstag	43939 \pm 20231
Freitag	44818 \pm 20655

7.2 Aktivität in den unterschiedlichen Versuchsphasen

Beim Vergleich der Aktivität der Hunde in den unterschiedlichen Versuchsphasen ergaben sich signifikante Unterschiede (Abbildung 33).

Das Training bewirkte in der Trainingsphase eine reduzierte freie Aktivität der Hunde gegenüber allen restlichen Phasen. Keine signifikanten Unterschiede in der freien Aktivität ergaben sich beim Vergleich der restlichen Versuchsphasen ($df = 4$; $F = 20,216$, $p < 0,001$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test).

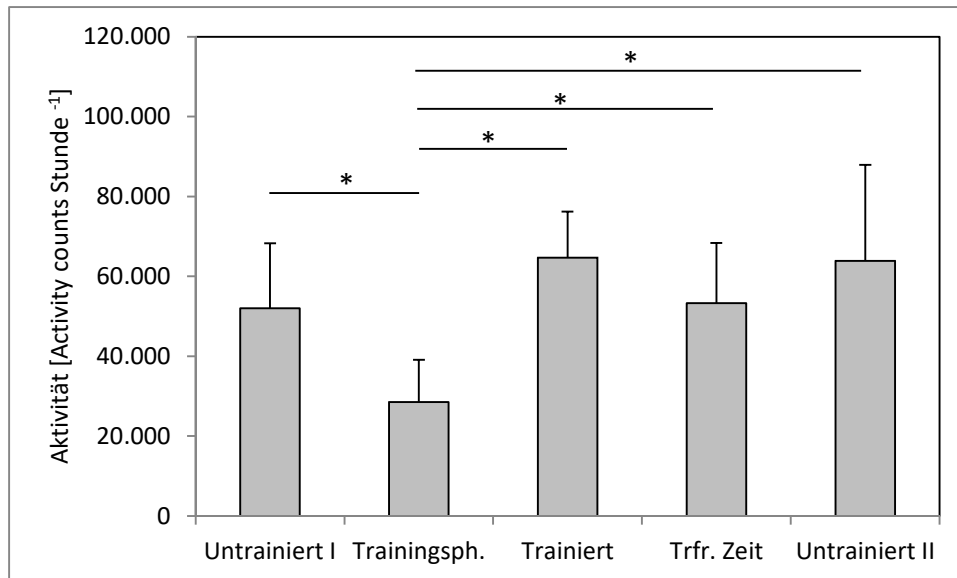


Abbildung 33: Aktivität der zehn Hunde in den einzelnen Versuchsphasen (Messphase „untrainiert I“, Trainingsphase, Messphase „trainiert“, trainingsfreie Zeit, Messphase „untrainiert II“) [MW ± StaAbw].

7.3 Aktivität und Außentemperatur

Der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die freie Aktivität wurde mithilfe der Temperaturgruppen ermittelt. Die Aktivität der einzelnen Gruppen unterschied sich signifikant voneinander (Abbildung 34). Bei Temperaturen der Gruppe A (-10°C bis +5°C) zeigten die Hunde die höchste durchschnittliche Tagesaktivität. Diese unterschied sich signifikant von der Aktivität der Gruppe B (+5°C bis +20°C) und C (+20°C bis +30°C). Auch die Aktivität der Gruppen B und C unterschieden sich signifikant voneinander. Je höher die Umgebungstemperatur war, desto weniger bewegten sich die Tiere ($df = 2$, $F = 26,464$, $p < 0,001$, rm ANOVA; allgemeines Signifikanzniveau = 0,05, Holm-Sidak-Test).

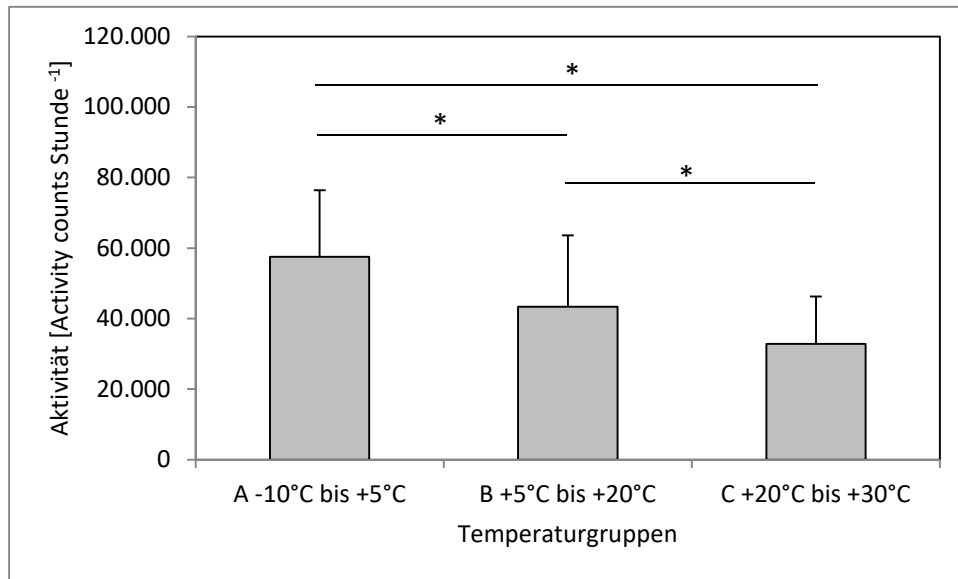


Abbildung 34: Freie Aktivität der zehn Hunde in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur [MW \pm StaAbw].

Auch bei der gemeinsamen Darstellung der Aktivitäts- und Temperaturdaten während der gesamten Versuchszeit fiel eine geringe Aktivität der Tiere bei hohen Umgebungstemperaturen während der Sommermonate auf. Bei sinkenden Außentemperaturen im Winter stieg die Aktivität der Hunde (Abbildung 35).

Bei der Betrachtung der Aktivität und der Außentemperatur während der verschiedenen Versuchsphasen war eine statistisch signifikant geringere freie Bewegung in der Trainingsphase bei gleichzeitig hoher Umgebungstemperatur erkennbar (Tabelle 22).

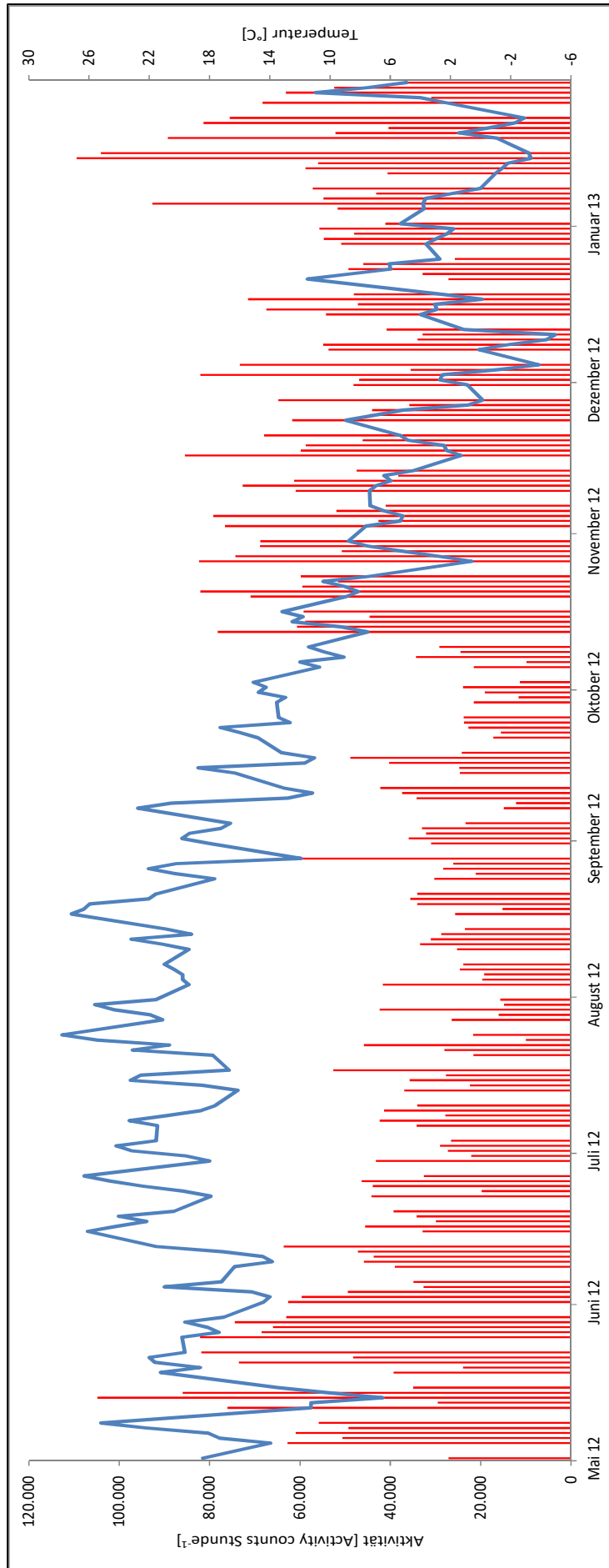


Abbildung 35: Aktivitäts- (rote Balken) und Temperaturdaten (blaue Linie) während der gesamten Versuchszeit.

Tabelle 22: Aktivität und Außentemperatur während der verschiedenen Versuchsphasen [MW \pm StaAbw].

Versuchsphase	Aktivität [Activity counts/Stunde]	Außentemperatur [°C]
Messphase „untrainiert I“	52020 \pm 16274 ^a	19 \pm 4
Trainingsphase	28554 \pm 10517 ^b	19 \pm 5
Messphase „trainiert“	64679 \pm 11528 ^a	8 \pm 3
Trainingsfreie Zeit	53245 \pm 15147 ^a	3 \pm 3
Messphase „untrainiert II“	63933 \pm 24008 ^a	0 \pm 4

Mittelwerte einer Spalte, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant.

V. DISKUSSION

1. Limitationen der Methodik

1.1 Versuchsaufbau und Tierzahlen

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine Folgearbeit, die Ergebnisse aus den Arbeiten von Ruoss (2011) und Zollner (2012) aufgreifen und unter veränderten Trainingsbedingungen fortführen bzw. ergänzen sollte. Alle verwendeten Methoden waren daher etabliert und hatten sich bewährt. Die Untersuchung wurde an zehn Hunden geplant. In der Tierhaltung befanden sich noch sieben Hunde, die bereits Erfahrungen mit dem Laufband und den Messungen aus der vorangegangenen Studie von Zollner (2012) hatten. Diese Tiere wurden ebenso einer aufwändigen Gewöhnungsprozedur unterzogen, die Untersuchung bedeutete aber für sie keinen Stress mehr, und es eröffnete sich so ein direkter, individueller Vergleich zwischen den Trainingsregimes. In dem vorliegenden Versuch wurde ein Ausdauertraining mit doppelt so vielen Trainingseinheiten pro Woche durchgeführt wie bei der genannten Arbeit von Zollner (2012). Drei der Tiere aus der Studie von Zollner (2012) waren bereits an Privatpersonen vermittelt worden, so dass drei weitere Hunde, die mit dem Prozedere nicht vertraut waren, in die Studie aufgenommen werden mussten. Dadurch konnten Einflüsse aufgrund der Erfahrungen, welche die anderen Tiere in der vorausgegangenen Studie (Zollner, 2012) bereits gewonnen hatten, nicht ausgeschlossen werden und zudem kein direkter Vergleich auf individueller Basis zwischen den beiden Studien garantiert werden. Um trotzdem eine gute Vergleichbarkeit zu garantieren, war die Gewöhnungsphase für alle Tiere gleich lang. Wie sich aber herausstellte, verweigerten die drei neuen Hunde das Laufen auf dem Laufband bei höheren Geschwindigkeiten mit der Messausrüstung, so dass bei der Auswertung der Respirometriedaten unter Belastung und den parallel dazu aufgezeichneten Herzfrequenzen auf ihre Werte verzichtet werden musste. Bei einem dieser drei Beagles bestand zudem eine derart starke Unruhe bei den respirometrischen Ruhemessungen, den dabei stattfindenden Herzfrequenzmessungen und der Ultraschalluntersuchung zur Ermittlung der Muskeldicke, dass Messwerte dieses Hundes nicht verwendet werden konnten (vergleiche Tabelle 6). Einige Hunde waren deutlich aktiver als andere, das Ausgangstrainingslevel der zehn Hunde war somit nicht exakt gleich. Die Messdaten wurden zu verschiedenen Zeitpunkten mittels Varianzanalyse mit Messwiederholungen

(rmANOVA) für jedes Tier einzeln kontrolliert. Differenzen zwischen einzelnen Hunden in der Ausdauer wurden jedoch in jeder Messphase festgestellt.

Die Länge der Trainingspause zwischen „trainiert“ und „untrainiert II“ betrug zehn Wochen. Diese Pause reichte aus, um die Muskeldicken im Wesentlichen in den Ausgangszustand zurückzusetzen. Es kann, anhand der eigenen Studie, nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob diese Pause auch ausreichend war, Trainingseffekte auf den Kreislauf rückgängig zu machen. Allerdings spricht dafür, dass die in der eigenen Studie beobachteten Unterschiede zwischen „untrainiert I“ und „untrainiert II“ bei Zollner nicht auftraten, wobei bei Zollner „untrainiert II“ bei vergleichbaren Außentemperaturen stattfand wie „untrainiert I“.

Der Vergleich der eigenen Arbeit mit der von Zollner (2012) erbrachte Diskrepanzen, die sich nur durch die Außentemperatur erklären ließen (s. u.). Dieser Effekt war vorhanden, obwohl am Laufband eine konstante Temperatur herrschte. Er war daher eher weniger vorhersehbar, überdeckt aber eventuell vorhandene Trainingseffekte in weit größerem Ausmaß als die Tierzahl. Diese Beobachtung stellt daher das bedeutendste Ergebnis der eigenen Studie dar, welches trotz geringerer Tierzahl als geplant eindeutig verifiziert werden konnte, da die Differenzen größer waren und relativ geringere Streuungen aufwiesen als die möglichen Trainingseffekte.

1.2 Untersuchungsmethoden

Futterzuteilung

Die Zuteilung des Futters erfolgte im Normalfall nach Energiebedarf, d. h. es wurde nach Körpermasseerhalt gefüttert. Hierfür wurden die Tiere regelmäßig (zumindest einmal wöchentlich) gewogen und die Energiemenge sprich Futtermenge bei Bedarf entsprechend angepasst. Während der Studie waren intensive Lafeinheiten geplant, die einen Muskelmassezuwachs möglich erscheinen ließen. Bei Fütterung ausschließlich nach Körpergewicht wäre einer Gewichtszunahme durch Muskelzuwachs entsprechend eine Reduktion der Futtermenge gefolgt, was letztendlich einer Mangelernährung gleichgekommen wäre. Entsprechend wurde zusätzlich eine Beurteilung anhand eines sogenannten Body Condition Scoring (Laflamme, 1997) vorgenommen. Hierbei wird zusätzlich palpatorisch und visuell nach einem Schema der Ernährungszustand mithilfe des

Anteils an sichtbarem bzw. fühlbarem Körperfettes eingeschätzt. Dadurch ergibt sich eine recht hohe subjektive, beobachterabhängige Einschätzung der Körperkondition der Versuchstiere. In der vorliegenden Studie wurden alle BCS-Untersuchungen von derselben Person durchgeführt, so dass die Beobachterabhängigkeit entfällt. Die Beurteilung der Muskelmasse geht in den BCS vor allem dann ein, wenn es zu erheblichen Verlusten kommt (Michel et al., 2011; Kienzle und Schramme, 2004). Es könnte daher sein, dass Veränderungen nicht sicher erfasst werden, wenn sich der Trainingszustand erheblich ändert. In der vorliegenden Arbeit änderte sich allerdings die Dicke der Muskulatur (gemessen im Ultraschall am Rücken, Vorderlauf und Hinterlauf) nur um wenige Millimeter, so dass es nicht wahrscheinlich ist, dass erhebliche Veränderungen des Ernährungszustandes unbemerkt geblieben wären.

Gewichtsentwicklung

Die Körpermasse der Tiere blieb während der Versuchszeit nicht konstant. In der Messphase „untrainiert II“ wurde bei den Hunden eine signifikante Gewichtsabnahme im Vergleich mit dem Zustand in der Messphase „trainiert“ festgestellt (Abbildung 17). In der trainingsfreien Zeit nach „trainiert“ wurde das Futter reduziert, weil befürchtet wurde, dass die Hunde nach Beendigung des Trainings zunehmen könnten. Sie nahmen dann an Gewicht ab. Dies hing vermutlich zum Teil mit tiefen Außentemperaturen und entsprechend hoher freier Aktivität zusammen. Nach Wiederaufnahme der Messung in „untrainiert II“ wurde wieder mehr Futter gegeben, allerdings zunächst nicht so viel wie in „untrainiert I“. Da die Außentemperaturen weiterhin niedrig und die freie Aktivität entsprechend hoch war, nahmen die Hunde weiter ab. Es ist möglich, dass dies einen Effekt auf Puls, Atmung und Energieverbrauch hatte, weil dünnere Hunde möglicherweise noch effizienter laufen können als normalgewichtige. Zieht man die Arbeit von Zollner (2012) zum Vergleich heran, so zeigte sich bei ihr in der Phase, die analog zu „untrainiert II“ in der vorliegenden Arbeit war, eine Gewichtszunahme. Gleichzeitig waren die Außentemperaturen in dieser Phase hoch. Um zu überprüfen, ob die Gewichtsveränderungen einen wesentlichen Einfluss auf die verschiedenen Parameter gehabt haben könnten wurde zunächst das Atemminutenvolumen bei relativ schneller Geschwindigkeit (12 km/h) ausgewählt, da dieser Parameter besonders auffällige Unterschiede zeigte. Es wurde das Gewicht bei „untrainiert I“ als 100 % gesetzt, das Gewicht bei „trainiert“ und „untrainiert II“ dann als x % angenommen, und das Gewicht relativ zu „untrainiert I“ gegen das Atemminutenvolumen getestet. Es bestand keine

Beziehung ($R^2 = 0,02$). Ähnliches galt auch für andere Parameter, wie die Atemfrequenz bei 8 km/h ($R^2 = 0,06$) und 12 km/h ($R^2 = 0,02$). Daher wird im Folgenden nur noch der Einfluss der Außentemperatur diskutiert.

Herzfrequenzmessungen

Die Herzfrequenz wurde mit einem Polar-Brustgurt gemessen, der normalerweise beim Menschen im Sportbereich verwendet wird. Für andere Tierarten als den Hund, wie zum Beispiel das Pferd, gibt es speziell validierte Polar Herzfrequenz-Messgeräte auf dem Markt. Dass diese Methode zweckmäßig, zielführend und praktisch ist, zeigte sich allerdings bereits in den vorangegangenen Studien (Gerth et al., 2009b; Ruoss, 2011; Zollner 2012). Alle in den genannten und eigenen Arbeiten eingesetzten Hunde akzeptierten den Gurt problemlos. Um die Leitfähigkeit der Elektroden zu verbessern, wurden Haut und Fell des Hundes großzügig mit einem Gel auf Wasserbasis, vergleichbar den bei Ultraschalluntersuchungen genutzten Gelen, benetzt. Dennoch kam es - vor allem während der Ruhemessungen - immer wieder zu Kontaktverlusten, die zu Messungenauigkeiten führten. Diese Messaussetzer, erkennbar dadurch, dass länger als fünf Sekunden kein Herzfrequenz-Signal empfangen wurde und durchgehend die zuletzt empfangene Frequenz angezeigt wurde, wurden bei der Auswertung herausgefiltert. Bei der Anwendung der Messgeräte fiel auf, dass bei einigen Hunden kontinuierlich und über den gesamten Versuchsverlauf verlässliche Daten geliefert wurden, während es bei anderen Tieren in allen drei Messphasen vermehrt zu Kontaktverlusten und damit zu Messaussetzern kam. Diese individuelle Abhängigkeit ist möglicherweise auf anatomische Gegebenheiten oder eine unterschiedliche Leitfähigkeit der Haut (Feuchtigkeitsgehalt) zurückzuführen. Sollte dieses Messverfahren im Feld angewandt werden, empfiehlt es sich daher, zunächst die Kontinuität der Messdaten bei den möglichen Teilnehmern der Studie zu überprüfen. Insgesamt hat sich in den nunmehr vier Arbeiten mit der beschriebenen Messmethode gezeigt, dass es sich bei der Herzfrequenzmessung mit humanen Polar-Messgeräten um eine Methode zur nicht-invasiven Herzfrequenzmessung bei Hunden in Laufaktivität handelt, die von den Tieren gut akzeptiert wird- exaktere Ergebnisse werden allerdings bei der Messung mittels EKG erzielt (s. u.).

Parallel zur Herzfrequenzmessung mit Polargurten wurde mit einem EKG gemessen. Das EKG ist in der Veterinärmedizin eine der bewährtesten Methoden der schonenden kardiologischen Diagnostik. Nicht nur in der Praxis, sondern auch in wissenschaftlichen

Untersuchungen kommt es zum Einsatz (Eckenfels und Trieb, 1979; Hanton und Rabemampianina, 2006). Beim Erfassen der Herzfrequenz per EKG ergaben sich aufgrund einer beat-by-beat Messung genauere Werte, was bei einem Vergleich der Herzfrequenzmessung mittels EKG und Polar-Messgerät deutlich wurde. Eine Korrelationsanalyse beider synchron gemessener Methoden ergab je nach Trainingszustand ein Bestimmtheitsmaß (R^2) im Bereich von 0,685 bis 0,766. Vor allem bei niedrigen Herzfrequenzen („untrainiert I“, Abbildung 24; „trainiert“, Abbildung 25) sind größere Differenzen zwischen beiden Methoden festzustellen, was vermutlich auf die Kontaktverluste und daher Messungenauigkeiten bei Verwendung des Polar-Messgerätes während der Ruhemessungen zurückzuführen ist (s. o.). Die Grafiken zeigen dort eine systematische Unterschätzung durch den Polargurt, was nahelegt, dass bei der Herzfrequenzmessung mittels Polar-Messgerät mehr Fehlmessungen auftraten. Folglich ist das EKG bei Messungen in Ruhe überlegen.

Das Messen der Herzfrequenz durch das EKG ist ein Verfahren mit hoher Präzision. Pulserhöhungen durch äußere Einflüsse (Lärm und Ablenkung) und damit Verfälschungen der Herzfrequenz waren im EKG sofort sichtbar und konnten somit ausgesondert werden. Solche Ausreißer wurden durch Notizen während der Messung über Störungen durch Personenverkehr und Hundegebell identifiziert. Aufgrund dieser Vorteile wurden ausschließlich die mittels EKG gemessenen Werte bei der Auswertung der minimalen, mittleren und maximalen Herzfrequenz verwendet. Ein Nachteil der EKG-Methode ist, dass sie einen größeren Geräteaufwand erfordert. Neben den Elektroden im Brustbereich musste das Televet 100 Gerät (siehe Kapitel III, 5.1.2) im Brustgeschirr am Rücken fixiert werden und stellte aufgrund des höheren Eigengewichts für die Hunde eine größere Einschränkung der Beweglichkeit dar als der Polar-Brustgurt. In beiden vorangegangenen Arbeiten wurde für Herzfrequenzmessungen das Polar-Messgerät verwendet. Angesichts der oben dargestellten Nachteile dieser Methode sollte das EKG parallel zum Vergleich als eine zweite Methode zum Einsatz kommen, wenn dies technisch möglich ist. Somit wäre neben einer guten Vergleichbarkeit mit Daten aus der Polargurt-Messung, z. B. aus Feldversuchen, eine exaktere Messung mittels EKG möglich.

Respiratorische Messungen

Die indirekte Kalorimetrie mittels Respirometrie stellt eine gut etablierte Methode dar, um den Energieverbrauch von Tieren zu messen. Auch bei Hunden wurde sie bereits mehrfach

angewandt (Speakman et al., 2001; Gerth et al., 2009b; Gerth et al. 2015b; Ruoss, 2011; Zollner, 2012). Beim Training auf dem Laufband fiel auf, dass die Tiere ohne die Messausrüstung viel leistungsbereiter waren. Bei der Geschwindigkeit von 12 km/h galoppierten einige Hunde im Training ohne Apparatur bereits, während sie in der Messphase vermutlich aufgrund der zusätzlichen Belastung durch die Atemmaske und dem in einem Rucksack auf dem Rücken verstaute Messgerät nur trabten. Diese Beobachtung einer geringeren Leistungsbereitschaft wurde bereits in den Studien von Ruoss (2011) und Zollner (2012) gemacht: Sowohl bei Ruoss (2011) als auch bei Zollner (2012) konnten die Hunde weder beim Training noch in der Messphase zum Galopp gebracht werden. Das liegt zum einen an der geringeren Maximalgeschwindigkeit im Training von Zollner (13 km/h vs. 16 km/h). Zum anderen zeigten die Hunde in der vorliegenden Studie durch das paarweise Trainieren auf dem Laufband eine höhere Motivation, bei hohen Geschwindigkeiten zusammen mit dem Trainingspartner zu galoppieren. Trotz der zehnwöchigen Gewöhnung an das Laufband und die Atemmaske verweigerten drei Hunde, mit der Messausrüstung auf dem Laufband zu laufen sowie das Weiterlaufen bei höheren Geschwindigkeiten. Dies führte zu einer Reduktion der Anzahl der Versuchstiere im Verlauf des Versuches, so dass letztlich nur sieben von zehn Hunden respirometrisch ausgewertet werden konnten (vergleiche Tabelle 6).

Die indirekte Kalorimetrie kann wie in der vorliegenden Studie mittels einer Maske oder auch mit einem Mundstück oder einer Haube durchgeführt werden (Segal, 1987). Bei einer weiteren Variante befindet sich der Proband in einem abgeschlossenen Raum oder einer Kammer von bekanntem Volumen. Der Sauerstoffverbrauch und die Kohlendioxidproduktion werden aus den Konzentrationsänderungen in der Kammerluft im Laufe der Zeit abgeschätzt. Für kurzfristige Messungen genügen Masken oder Hauben-Systeme. Kammerbasierte Systeme sind dagegen genauer und besser geeignet für die Langzeitmessung bestimmter Aktivitätsmuster- jedoch stellen sie aufgrund der räumlichen Beschränkung eventuell nicht das Verhalten im natürlichen Lebensraum dar (Levine, 2005). Beide Verfahren können laut Hill (2006) für Hunde und Katzen Stress bedeuten, wenn die Tiere nicht über mehrere Wochen an das Verfahren gewöhnt wurden.

Eine weitere Methode zur Messung des Energiebedarfs ist beispielsweise die doubly labelled water (DLW)-Methode (siehe Speakman, 1998). Die Methode ermöglicht Messungen unter den natürlichen Lebensbedingungen von Individuen im Feld über einen

längeren Versuchszeitraum. Allerdings ist es unmöglich, mit dieser Methode den Energiebedarf innerhalb kurzer Zeiträume von wenigen Minuten zu messen. Zudem ist die Methode aufgrund mehrmaliger Blutentnahmen aufwendig, invasiv und in der Analyse sehr kostenintensiv (Butler et al., 2004). Insgesamt wurde in den eigenen Versuchen die Methode der Respirometrie der des DLW vorgezogen, da sie im angestrebten Untersuchungsbereich besser geeignet ist und für die Tiere als weniger belastend erachtet wurde. Eine in gewissem Umfang reduzierte Leistungsbereitschaft durch Tragen von zusätzlichem Gewicht wurde im Hinblick auf den Tierschutz als geringe Belastung eingestuft.

Muskeldickenmessungen

Die sonographische Dickenmessung ausgewählter Lokomotionsmuskeln mit Auswertungen am Computer wurde auch in den vorigen Studien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) angewandt. Ein Vorteil dieser Methode ist eine gute visuelle Trennung von Fett, Knochen und Muskulatur. Aus der Kleintiermedizin ist die Ultraschalltechnik als Mittel der Diagnostik nicht mehr wegzudenken. Auch bei der Schlachttieruntersuchung kommt der Ultraschall zum Einsatz, indem mit der Vermessung der Muskeldicke der Schlachtkörperwert erfasst werden kann (Toeroek et al., 2009). Ein Nachteil der sonographischen Muskeldickenmessung besteht in der Ungenauigkeit durch eingeschränkte Reproduzierbarkeit des Messortes. Trotz sorgfältiger Durchführung aller Messungen von derselben Person kann ein Messfehler durch unterschiedliche Lagerung und Druck der Sonde nicht ausgeschlossen werden. Weitere mögliche Methoden wie die Muskeldickenmessung durch Computertomographie, Magnetresonanztomographie oder DEXA erfordern beim Tier eine Narkose und sind somit deutlich invasiver und belastender. Aus diesem Grund wurde die Sonographie als für die vorliegende Studie geeignete Methode ausgewählt. Bei den eigenen Untersuchungen konnten mit Hilfe der Sonographie immerhin Differenzen in der Muskeldicke verifiziert und statistisch abgesichert werden. Ein systematischer Unterschied, der Differenzen vortäuscht, wo keine sind, ist höchst unwahrscheinlich.

1.3 Erweiterte Daten-Analyse

Die eigenen Versuche und die von Zollner (2012) fanden zu unterschiedlichen Jahreszeiten und somit deutlich unterschiedlichen Temperaturen statt, außerdem unterschieden sie sich

in der Intensität des Trainings. Während die Hunde in der Studie von Zollner (2012) in den Wintermonaten trainiert wurden, wurden die Hunde der eigenen Studie im Sommer trainiert. Die einzelnen Messphasen fanden bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen statt. Dass die Umgebungstemperatur für das angewandte Testsystem eine große Rolle spielt, war für die beiden vorigen Arbeiten (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) nicht erkennbar, zwar wurde bereits bei Zollner (2012) wie auch in der vorliegenden Arbeit (Abbildungen 34 und 35) ein deutlicher Einfluss der Außentemperatur auf die freie Aktivität der Tiere festgestellt, jedoch wurde dieses Erkenntnis nicht weiter analysiert. Ein Einfluss auf weitere gemessene Parameter ist aber möglich und sollte mit der erweiterten Daten-Analyse abgeklärt werden. In beiden Arbeiten wurden die Messungen zwar in klimatisierten Räumen bei etwa gleichen Bedingungen vorgenommen, trotzdem können Effekte der Außentemperaturen nicht ausgeschlossen werden. Alle Hunde befanden sich täglich für mehrere Stunden in nicht-klimatisierten Außenzwiegern, wodurch eine physiologische Anpassung an diese Bedingungen (Felldicke, Stoffwechsel, Unterhautfett etc.) wahrscheinlich ist. Eine durchgehende Haltung der Tiere in einem klimatisierten Innenbereich wäre eine Möglichkeit gewesen, diesen Temperatur- bzw. Jahreszeiteinfluss zu minimieren, stand jedoch außer Diskussion. Allein aus Tierschutzgründen wäre ein Wegfall der Freilaufzeiten in großen Außenzwiegern nicht infrage gekommen. Es wäre zudem einer unnatürlichen und starken Einschränkung der Bewegungsfreiheit gleichgekommen, was sicherlich einen noch deutlicheren Effekt auf die Versuchsergebnisse gehabt hätte als unterschiedliche Außentemperaturen. Eine Alternative wäre gewesen, die Arbeit zu den exakt gleichen Zeiten durchzuführen wie Zollner (2012).

Ob die Faktoren Trainingszustand und Temperatur eventuell nivellierende Effekte auf die Zielgrößen Sauerstoffverbrauch und Herzfrequenz hatten, sollte durch die gemeinsame Auswertung der Ergebnisse beider Studien mit Überprüfung des Faktors Außentemperatur überprüft werden. Zudem sollte eine Korrelationsanalyse zwischen der Polar-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und dem relativen Sauerstoffverbrauch [ml/min/kg] über alle Daten erstellt werden. Dabei mussten einzelne Faktoren wie der wiederholte Einsatz einiger Hunde (n=7) respektive der singuläre Einsatz einzelner Tiere in den jeweiligen Studien hingenommen werden. Durch den wiederholten Einsatz der sieben Beagles kam es natürlich auch zu unterschiedlichen Altersstrukturen bei den Hunden der beiden Arbeiten. Das Alter der Tiere zu Beginn des ersten Versuchs lag zwischen 12 und 30 Monaten während sie zu Beginn des zweiten Versuchs zwischen 23 und 41 Monate alt waren. Die

Trainingsdauer betrug bei beiden Studien 16 Wochen. Jedoch wurde bei der vorliegenden Arbeit der zeitliche Umfang des Trainings von drei auf sechs Tage pro Woche erhöht, auch die Trainingsdauer pro Trainingseinheit wurde sehr deutlich erhöht und so intensiver gestaltet. Derlei Differenzen müssen bei der Interpretation beachtet werden, rechtfertigen aber nicht den Verzicht auf die zusätzlichen Erkenntnisse.

2. Effekte von Ausdauertraining

Wiederholte körperliche Beanspruchung führt bei Mensch und Tier im Allgemeinen zu Trainingseffekten. Beim Menschen beziehen sich diese auf anatomische, biochemische und physiologische Veränderungen bei sportlich aktiven Personen, die sich signifikant von denen bei Menschen unterscheiden, welche den Großteil ihrer Tätigkeit im Sitzen verbringen (Scheuer und Tipton, 1977). Diese Anpassungen ermöglichen dem Körper eine Erhöhung der Leistung. Training wirkt sich auch beim Hund auf die Fähigkeit aus, körperliche Anstrengung auszuhalten (NRC, 2006). Die in der vorliegenden Studie an Hunden erzielten Effekte eines 16-wöchigen Ausdauertrainings werden im Folgenden erörtert.

2.1 Effekte von Ausdauertraining auf die Herzfrequenz

Die Auswertung der mittleren Herzfrequenz in Ruhe und unter Belastung wurde ausschließlich mittels EKG durchgeführt. Diese Methode erlaubt die einfache und kontinuierliche Aufzeichnung von Herzfrequenzen mit minimalem Stress für die Tiere.

Effekte von Ausdauertraining auf die Herzfrequenz in Ruhe

In der Messphase „trainiert“ wurde in Ruhe eine signifikant höhere mittlere Herzfrequenz als im Zustand „untrainiert I“ festgestellt. Dieser höhere Wert zeigte sich auch nach der trainingsfreien Zeit noch (Vergleich der Zustände „untrainiert I“ und „untrainiert II“). Submaximales Ausdauertraining führt bekanntermaßen zu einer Reduktion der Ruheherzfrequenz von Hunden (Wyatt und Mitchell, 1974; Bove et al., 1979; Musch et al., 1985; Mackintosh et al., 1983) und anderen Säugetieren, einschließlich des Menschen (Scheuer und Tipton 1977; Barnard et al., 1976). Eventuell erklärt die Intensität des in der vorliegenden Studie durchgeführten Trainings, dass es hier nicht zu diesem Effekt gekommen ist. Bei den Hunden der vorliegenden Studie kann aufgrund der Veränderungen der vermessenen Muskelgruppen von einem insgesamt erhöhten prozentualen Muskelanteil

im trainierten Zustand ausgegangen werden (Kapitel V, 2.4). Dies spricht zum einen für ein intensiveres Trainingsprogramm, zum anderen kann sich dadurch unter Umständen sowohl der Energiebedarf in Ruhe als auch in Folge die Herzfrequenz erhöhen. Sowohl bei der Studie von Zollner (2012) als auch der von Ruoss (2011) konnten beim Vergleich der Trainingszustände „untrainiert I“ und „trainiert“ keine Trainingseffekte auf die Ruheherzfrequenz festgestellt werden. Das Training der Hunde wurde in der Zollner-Studie (2012) länger (16 vs. 6 Wochen) als bei Ruoss (2011) gestaltet. In der vorliegenden Studie wurde das Training über einen Zeitraum von 16 Wochen noch intensiver durchgeführt. Die Ruheherzfrequenz eines Hundes ist ein variabler Parameter (Osborne und Leach, 1971). Sie wird unmittelbar beeinflusst von Faktoren wie z. B. geleisteter Arbeit (Sanders et al., 1977), niedriger Temperatur (Korhonen et al., 1985) und emotionalem Stress (Palestrini et al., 2005; Beerda et al., 1998; Vincent et al., 1993). Aufgrund dieser Einflussfaktoren steigt sie laut Literaturangaben (Sanders et al., 1977; Palestrini et al., 2005) kurzfristig an. Auch die Umgebung, in der die Messung durchgeführt wird und die anwesenden Personen nehmen Einfluss auf die Herzfrequenz (Wise und Gantt, 1962). Um standardisierte Methoden zu erhalten, wurden die Hunde der vorliegenden Studie innerhalb von zehn Wochen an die Messprozedur gewöhnt. Alle Messungen wurden im selben Raum und von derselben Person durchgeführt. Es wurde gezeigt, dass psychisch gestresste Hunde signifikant ansteigende Herzfrequenzen haben (Gaebelein et al., 1977; Galosy et al., 1979), daher sollten diese Maßnahmen dazu beitragen, den Stress der Tiere zu reduzieren. Eine Beeinflussung der Messergebnisse durch zunehmenden Stress im Versuchsverlauf anstelle von Gewöhnung ist daher eher unwahrscheinlich. Es gibt jedoch auch positiv empfundenen Stress, sogenannten Eustress, der bei Motivation auftritt und der dazu beiträgt, die Leistungsfähigkeit zu erhalten bzw. zu steigern. Der Hundesport Agility, der von den Hunden gern betrieben wird, kann beispielsweise für die Tiere ein durchaus stressiges Ereignis darstellen (Pastore et al., 2011). Die Hunde der vorliegenden Studie reagierten mit Vorfreude auf die vorgenommenen Messungen und den damit verbundenen Kontakt mit Menschen. Sie wurden von den meisten der Hunde als positiv empfunden und stellten ein abwechslungsreiches Erlebnis dar. Möglicherweise ist die Erhöhung der Ruheherzfrequenz im Versuchsverlauf auf diesen Eustress zurückzuführen. In der Studie von Palestrini et al. (2005) wurde ein Anstieg der Herzfrequenz von Hunden infolge der Aufregung bei der Zusammenkunft mit einer vertrauten Person festgestellt. Kurzfristige Erhöhungen der Herzfrequenz durch Aufregung oder Störung spielten jedoch keine Rolle bei der

halbstündigen Ruhemessung, da diese auf dem EKG sichtbar und bei der Auswertung entfernt wurden (siehe Kapitel V, 1.2). Pape et al. (1986) konnten bei einem Vergleich von trainierten Rennhunden (Greyhounds) mit nie trainierten Hunden der gleichen Rasse bei den Rennhunden eine höhere Ruheherzfrequenz als bei den untrainierten Tieren messen. Ursächlich scheint eine hohe Ausgangskondition der Rennhunde zu Beginn des Trainings verantwortlich zu sein. Gegen diese Erklärung spricht jedoch, dass sowohl die Versuchshunde der vorliegenden Arbeit als auch die der vorherigen Studien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) eine ähnlich hohe Kondition zu Beginn des Versuchs aufgrund der gleichen Haltungsbedingungen besaßen.

Möglicherweise reagierten die Hunde der vorliegenden Studie in den Messphasen „trainiert“ und „untrainiert II“ aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen den Ausläufen im Freien und dem mit ca. 20°C temperierten Stall mit temperaturregulatorischen Maßnahmen, infolge derer die Ruheherzfrequenz anstieg. Die Tiere hielten sich täglich für mehrere Stunden in den nicht-klimatisierten Freiläufen auf- es ist wahrscheinlich, dass die Felldicke, der Stoffwechsel und das Unterhautfettgewebe der Hunde während dieser Versuchsphasen an die kalte Umgebung angepasst waren. Infolge der höheren Umgebungstemperatur im Stall kam es bei den Tieren im Rahmen der Thermoregulation vermutlich zu einer verstärkten Hautdurchblutung. Die periphere Gefäßweitstellung stellt eine temperaturregulatorische Maßnahme dar, vergrößert die Wärmeaustauschfläche und erhöht die Wärmeabgabe durch Konvektion. Dadurch wird der venöse Rückstrom zum Herzen vermindert, der totale periphere Widerstand sinkt und es kommt zu einem Blutdruckabfall. Daraufhin wird der Sympathikus aktiviert, was einen Anstieg von Herzfrequenz und Herzzeitvolumen bewirkt (Behrends et al., 2012). Folglich könnte sich ein Einfluss der Außentemperatur auf die Herzfrequenz der Hunde ausgewirkt haben. Bei der zusammenfassenden Auswertung der Daten der vorliegenden Studie und der von Zollner (2012) in Kapitel V, 4 konnte dagegen kein signifikanter Einfluss der Außentemperatur auf die Herzfrequenz der Hunde nachgewiesen werden.

Effekte von Ausdauertraining auf die Herzfrequenz unter Belastung

Unter Belastung konnte in der vorliegenden Studie zunächst (Vergleich der Zustände „untrainiert I“ und „trainiert“) keine Absenkung der mittleren Herzfrequenz durch das Trainingsprogramm beobachtet werden. Die mittleren Herzfrequenzen während der Schwellentests unterschieden sich nach dem Training nicht signifikant- erst nach der trainingsfreien Zeit („untrainiert II“) konnte bei 12 km/h eine signifikante Abnahme der

Herzfrequenz beim Vergleich der Zustände „trainiert“ und „untrainiert II“ bzw. „untrainiert I“ und „untrainiert II“ beobachtet werden. Bei den Versuchen von Zollner (2012) und Ruoss (2011) wurde unter Belastung keine Absenkung der Herzfrequenz beschrieben. Dagegen stellten sowohl Wyatt und Mitchell (1974) als auch Mackintosh et al. (1983) fest, dass der Trainingszustand eines Hundes einen Einfluss auf die Herzfrequenz unter physischer Belastung hat. Bei Wyatt und Mitchell (1974) bewirkte ein zwölfwöchiges Laufbandtraining mit einer Geschwindigkeit von 6,1 mph (9,8 km/h) während der Belastung einen Abfall der Herzfrequenz von 205 bpm auf 158 bpm. Bei Mackintosh et al. (1983) sanken die Herzfrequenzen, die zwei Minuten nach Belastungsende gemessen wurden, von 148 bpm vor dem Ausdauertraining auf 109 bpm nach dem Training. Laut Wyatt und Mitchell (1974) beruhen unterschiedliche Ergebnisse vieler Studien mit Hunden auf einer unterschiedlichen körperlichen Ausgangsbasis der Probanden und auf der Dauer und dem Umfang des Trainingsprogramms. Dass bei der vorliegenden Studie und den Studien von Ruoss (2011) und Zollner (2012) direkt im Anschluss an die Trainingszeit keine Reduktion der Herzfrequenz unter Belastung festgestellt werden konnte, könnte daran gelegen haben, dass aufgrund der Haltungsbedingungen (Gruppe, Auslaufgröße etc.) ein vergleichsweise hoher Fitnessgrad bei den Tieren besteht. Durch ein relativ intensives Trainingsprogramm wie in vorliegender Studie, konnte der Fitnessgrad der Tiere vermutlich so gesteigert werden, dass im weiteren Versuchsverlauf nur bei hoher Geschwindigkeit (12 km/h) signifikante Differenzen detektiert werden konnten. Bei einem Trainingsprogramm mit geringer Intensitätssteigerung im Vergleich zum Ausgangstrainingslevel ist es möglich, dass keine Änderung der Herzfrequenz gegenüber dem untrainierten Zustand beobachtet werden kann (Gemmill et al., 1930; Herxheimer, 1924). Zwar wurde das Training im Vergleich mit den beiden Vorgängerstudien intensiver gestaltet, jedoch brachten die Hunde aufgrund der Haltung in den großen Ausläufen, wie schon bei Ruoss (2011) und Zollner (2012) beschrieben, bereits eine gute Grundlagenausdauer mit. Ein weiterer möglicher Erklärungsansatz für den Effekt auf die mittlere Herzfrequenz unter Belastung, der nur bei hohen Geschwindigkeiten (12 km/h) im Versuchsverlauf deutlich wurde, ergibt sich aus der reduzierten freien Aktivität der Hunde der vorliegenden Studie zur Zeit der Trainingsphase (siehe Kapitel V, 2.5.2). Durch vermehrte Ruhezeiten im Anschluss an die täglichen Laufbändeinheiten wurde ein Trainingseffekt eventuell abgemildert.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass bei Hunden unter Anwendung der beschriebenen Trainingspläne ein Effekt des Trainings auf die Herzfrequenz unter Belastung nur bei

hohen Geschwindigkeiten festgestellt werden kann. Die im Folgenden (Kapitel V, 5) beschriebene Metaanalyse unter Zugriff der Daten von Zollner (2012) ergab keinen signifikanten Einfluss des Trainingszustandes auf die Herzfrequenz.

2.2 Effekte von Ausdauertraining auf den Energiestoffwechsel

2.2.1 Effekte von Ausdauertraining auf die Atemfrequenz und das Atemminutenvolumen

Bei erhöhtem Bedarf an Sauerstoff durch körperliche Anstrengung kommt es auch beim Hund zur Tachypnoe, die Atemfrequenz erhöht sich (Saibene et al., 1981). Nicht nur die Zahl der Atemzüge pro Minute kann gesteigert werden sondern auch die Luftmenge (Volumen) jeden Atemzuges (Flandrois et al., 1971). Das Atemminutenvolumen, das in direkter Abhängigkeit zur Atemfrequenz steht, ist die Luftmenge, die in einer Minute ein- und ausgeatmet wird (rechnerisch Atemzugvolumen mal Atemfrequenz; von Engelhardt und Breves, 2005). Durch beide Faktoren kann das Atemminutenvolumen erheblich gesteigert werden. Bei steigender Laufgeschwindigkeit kann also eine Zunahme des Atemminutenvolumens erwartet werden, das sich aus erhöhter Atemfrequenz und/ oder erhöhtem Atemzugvolumen ergibt. Ob dieser Anstieg durch das intensive Training verändert wird, sollte in der vorliegenden Studie überprüft werden.

Bei den Ruhemessungen zeigte das Training weder Auswirkung auf die Atemfrequenz noch auf das Atemminutenvolumen. Unter Belastung kam es bei allen drei Laufgeschwindigkeiten wie erwartet zu einer Steigerung der Atemfrequenz, die jedoch nach Training signifikant geringer als in der Messphase „untrainiert I“ und in der Messphase „untrainiert II“ noch niedriger war. Das Atemminutenvolumen insgesamt war nach dem Training bei der Geschwindigkeit 12 km/h im Vergleich zur Messphase „untrainiert I“ signifikant niedriger, was auch für die Messung im Zustand „untrainiert II“ zutraf.

Training hatte zur Folge, dass die Atemfrequenz bei Laufleistung geringer angestiegen ist im Vergleich zur Ruhe als bei untrainierten Tieren („untrainiert I“) und dieser Effekt bis zur Phase „untrainiert II“ anhielt. Gleichzeitig war das Atemminutenvolumen bei 12 km/h nach Training und im Zustand „untrainiert II“ bei allen Geschwindigkeiten niedriger.

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen können die unterschiedlichen Temperaturen im Außenbereich (Freilauf der Hunde) die Veränderungen der Atemfrequenz im

Versuchsverlauf beeinflusst haben. Bei steigenden Temperaturen kommt es beim Hund zu einem Anstieg der Atemfrequenz. Durch das Hecheln, eine extrem flache Atmung mit hoher Frequenz und großer Wärmeabgabe aus den Atemwegen, findet beim Hund die Thermoregulation statt (Schmidt-Nielsen, 1997). Während bei Hitze die Atemfrequenz als Folge einer vermehrten Wärmeableitung über den Atmungstrakt (Young et al., 1959) ansteigt und das Atemzugvolumen sinkt, führen eine kalte Umgebung zu einer erniedrigten Atemfrequenz und gleichzeitig höherem Atemzugvolumen. Diese temperaturbedingten Anpassungen des Atemmusters stellen eine Strategie dar, um den Wärmeverlust durch die Atmung zu reduzieren (Diesel et al., 1990). Die Messungen im Zustand „untrainiert I“ fanden bei höheren Außentemperaturen (19°C) als im trainierten (8°C) und im Zustand nach der trainingsfreien Zeit (0°C) statt (siehe Abbildung 15): im Zustand „untrainiert I“ wurde aufgrund der hohen Temperaturen möglicherweise eine Thermoregulation in Form von Hecheln notwendig, aufgrund der niedrigeren Außentemperaturen in den Messphasen „trainiert“ und „untrainiert II“ kam es hier nicht zum Hecheln. Im vorliegenden Versuch hatten die Hunde allerdings bei höheren Temperaturen („untrainiert I“) unter Belastung signifikant höhere Atemminutenvolumina als bei niedrigen Temperaturen („untrainiert II“), außerdem fanden alle Messungen im temperierten Stall bei einer durchschnittlichen Umgebungstemperatur von ca. 20°C statt. Um direkte und akute Effekte der Umgebungstemperatur zu vermeiden, war direkt vor dem Laufband eine große Windmaschine angebracht, die eine Überhitzung der Tiere verhindern bzw. reduzieren sollte. Die Windmaschine produzierte eine Luftbewegung vergleichbar dem „Laufwind“ entsprechend der Laufgeschwindigkeit des laufenden Hundes. Es ist wahrscheinlich, dass die Temperaturunterschiede während des Versuchszeitraumes dennoch einen Einfluss auf die Entwicklung der Atemfrequenz hatten, da die Hunde erst kurz vor Messbeginn aus ihren Ausläufen im Freien geholt wurden. Eine dauerhaft gleichbleibende Umgebungstemperatur hätte in dem vorliegenden Versuch nur garantiert werden können, wenn man den Hunden keinen Freilauf gewährt hätte. Dies wäre zum einen aus Tierschutzgründen nicht möglich gewesen, und wäre zum anderen einer unnatürlichen Immobilisation gleich gekommen, die die Versuchsergebnisse vermutlich noch mehr beeinflusst hätte. Zur besseren Vergleichbarkeit hätte man den Versuch auch so im Jahresgang konzipieren können wie bei Zollner (2012). Die Atemfrequenz ließ in der Studie von Zollner (2012) im Ruhezustand und unmittelbar nach dem Training („trainiert“) keinen Trainingseffekt erkennen, unter Belastung (bei 12 km/h) sank sie allerdings durch das Training signifikant ab und stieg nach der trainingsfreien Zeit wieder an. Die Autorin

bringt diese Beobachtungen ebenso mit Veränderungen der Außentemperatur und damit notwendig gewordener Thermoregulation in Form von Hecheln in Verbindung. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie beobachtete Zollner (2012), dass das Atemminutenvolumen in Ruhe und bei 12 km/h im trainierten Zustand signifikant höher war als vor dem Training bzw. nach der trainingsfreien Zeit. Diese Tatsache deutet die Autorin als Hinweis darauf, dass Ausdauertraining die Atmung effektiver macht. Eventuell erklärt ein Temperatureffekt die unterschiedlichen Ergebnisse der vorliegenden und der früheren Arbeit (Zollner, 2012).

Die Körpertemperatur eines Hundes zeigt nicht überall die gleichen Werte- erreicht wird dies durch verschiedene temperaturregulatorische Maßnahmen wie Durchblutungsveränderung der Haut, Fettablagerung und isolierendes Fell, die sowohl gegen Unterkühlung als auch gegen Überhitzung eingesetzt werden. Die Beagles der vorliegenden Studie waren in den Messphasen „trainiert“ und „untrainiert II“ durch den täglichen Freilauf vermutlich an Kälte angepasst und hatten unter Umständen mehr Mühe, die aufgrund körperlicher Aktivität im klimatisierten Stall anfallende Abwärme kurzfristig durch Hecheln loszuwerden. In diesem Fall wäre jedoch eine Erhöhung der Atemfrequenz zu erwarten gewesen.

Es ist nicht eindeutig, ob das Training oder eine nicht ausreichende Dauer der trainingsfreien Zeit dafür verantwortlich waren, um Veränderungen der Atemfrequenz unter Belastung auf das Ausgangsniveau zurückzuführen. Unter Umständen führte ein Einfluss der niedrigeren Außentemperaturen dazu, dass sich sowohl die Atemfrequenz als auch das Atemminutenvolumen im Versuchsverlauf erniedrigten. Eventuell kann es auch zu einer Überlagerung beider Effekte (Training und Temperatur) gekommen sein, die eine mittelfristige Anpassung der Stoffwechselaktivität bedingte.

Auch mit den Messungen verbundener Stress, der sich durch Gewöhnung im Verlauf der Untersuchungen reduziert hat, kann zu abnehmenden Atemfrequenzen bzw. Atemminutenvolumina (bei 12 km/h) unter Belastung in den Messphasen „trainiert“ und „untrainiert II“ geführt haben. Eine Gewöhnung der Tiere an die Messprozedur im Verlauf des Versuches und damit eine ausgeprägtere Entspannung mit geringerer Atemfrequenz kann im vorliegenden Versuch nicht ausgeschlossen werden. Die damit verbundene verminderte Aufregung würde eine niedrigere Atemfrequenz in der dritten Phase („untrainiert II“) erklären. Allerdings war die Gewöhnungsphase relativ lang und die

Versuche wurden erst begonnen als die (für die Auswertung verwendeten) Tiere tatsächlich mit den Versuchsbedingungen vertraut waren.

Insgesamt muss also geschlossen werden, dass das Atemzugvolumen nur bei geringer Geschwindigkeit (5 und 8 km/h) anstieg. Eventuell war auch die Streuung bei den Geschwindigkeiten 5 und 8 km/h so groß, dass keine Unterschiede festgestellt werden konnten. Zusätzlich kann man folgern, dass unter den hier gewählten Bedingungen Training Atemfrequenz und Atemminutenvolumen verringert. Ein Trainingseffekt, der evtl. noch Wochen nach Beendigung des Trainings anhielt beschränkt sich daher auf ein niedrigeres Atemminutenvolumen bei hoher Laufgeschwindigkeit aufgrund eines geringeren Anstieges der Atemfrequenz.

Ob Training, niedrigere Außentemperaturen, eine Überlagerung dieser beiden Effekte oder eine zunehmende Gewöhnung der Tiere die festgestellten Veränderungen bedingten, konnte nicht eindeutig bewiesen werden.

2.2.2 Effekte von Ausdauertraining auf den Sauerstoffverbrauch

Effekte von Ausdauertraining auf den Sauerstoffverbrauch in Ruhe

Ausdauertraining hatte in dieser Studie keinen Effekt auf den Sauerstoffverbrauch während der Ruhemessungen. In der Literatur wird beschrieben, dass Langzeittraining bei Tieren zu einem Anstieg der RMR führt (Wilterdink et al., 1992; Ballor, 1991; Gleeson et al., 1982). Diskutiert wird, dass dies unter anderem durch einen Anstieg der fettfreien Masse (FFM) bedingt wird, also durch eine erhöhte Muskelmasse. Weitere Einflüsse dürften zum Tragen kommen, denn Speakman und Selman (2003) verwiesen darauf, dass eine erhöhte RMR vor allem bei Tieren auftritt, die nach Vorgabe erzwungener Trainingsprotokolle trainierten: Freiwillig trainierende Erdmäuse (*Microtus agrestis*) zeigten ebenso wie untrainierte Kontrolltiere keine Veränderungen des Ruhestoffwechsels.

Die Vorgängerstudie von Zollner (2012) ließ aufgrund des Anstieges der Sauerstoffaufnahme in Ruhe auf einen Anstieg der RMR nach dem Training bei Beagles schließen. Ruoss (2011) konnte dagegen bei FBI-Hunden durch das Training keine Beeinflussung des Sauerstoffverbrauchs und damit der RMR beobachten. Einzelne Hunderassen reagieren eventuell unterschiedlich auf Belastung. In den beiden Vorgängerstudien wurde zudem unterschiedlich intensiv trainiert, wobei die Trainingsintensität der vorliegenden Studie deutlich höher lag. Training ist hier folglich

keine Erklärung für den unveränderten Sauerstoffverbrauch. Versuche an Menschen führten ebenfalls zu unterschiedlichen Ergebnissen. Bei einigen Studien wurde nach einem aeroben Training ein signifikanter Anstieg der RMR beobachtet (Tremblay et al., 1986; Poehlman und Danforth, 1991), während andere Studien keinen Effekt nachweisen konnten (Broeder et al., 1992; Sharp et al., 1992). Eine Studie von Westerterp et al. (1992) zeigte, dass sich der Ruhestoffwechsel von Personen, die an einem 44-wöchigem Trainingsprogramm für einen Halbmarathon teilnahmen, erniedrigte. Untersuchungen, die einen Trainingseffekt beschreiben, sind möglicherweise verfälscht, wenn nicht genügend Zeit für die Beendigung des Langzeit-EPOCs (= Sauerstoffmehraufnahme nach Arbeitsende) nach der letzten Trainingseinheit gelassen wurde. Eine Messung in diesem Zeitraum kann die Höhe der RMR beeinflussen und ein Ergebnis liefern, das dann als Trainingseffekt interpretiert wird. Ein langanhaltender, zusätzlicher Sauerstoffverbrauch nach dem Training (EPOC), der bei Menschen bis zu 24 Stunden nach dem Training beobachtet wurde (Bahr und Sejersted, 1991), wurde beim Hund jedoch nicht nachgewiesen (NRC, 2006). Dabei muss beachtet werden, dass sowohl Trainingsdauer als auch -bedingungen der einzelnen Studien (z. B. Broeder et al., 1992, Poehlman und Danforth, 1991) unterschiedlich sind. Abgesehen davon erscheint eine Übertragung von Erkenntnissen aus dem Bereich der Sportphysiologie von einer Spezies auf die andere nicht möglich zu sein. So weicht der Energiestoffwechsel des Hundes unter körperlicher Belastung deutlich von dem des Menschen ab, so dass hier Trainingseffekte, die regelmäßig beim Menschen beobachtet werden, beim Hund nicht nachgewiesen werden können. Beispielsweise unterscheiden sich Art und Muster der Muskelfasern bei Mensch und Hund. Canine Muskelfasern besitzen eine hohe aerobe Kapazität, sind ermüdungsresistent und enthalten hohe Konzentrationen aerober Enzyme (Maxwell et al., 1977). Folglich ist der Hund besser an aerobes Ausdauertraining angepasst als der Mensch. Das absolvierte Training war für die Tiere in der vorliegenden Studie im Gegensatz zu den Studien von Ruoss (2011) und Zollner (2012) intensiver, es konnte eine Zunahme der Muskeldicke bei den Hunden beobachtet werden. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass es zu einer Zunahme der absoluten Muskelmasse und damit an dem Anteil an FFM gekommen sein könnte. Bei Zutreffen der Hypothese, dass der Anteil an FFM die RMR beeinflusst, müsste bei den Tieren demnach nach dem Training ein höherer Erhaltungsenergiebedarf in Ruhe vorgelegen haben. Dagegen spricht allerdings, dass kein signifikanter Mehrverbrauch an Sauerstoff beobachtet werden konnte.

Bei Bezug der Sauerstoffaufnahme auf die metabolische KM der Hunde wurde ein statistisch signifikanter Anstieg der Sauerstoffaufnahme beim Vergleich zwischen den Zuständen „untrainiert I“ und „untrainiert II“ nachgewiesen. Dieses Ergebnis kann durch die gewichtete Berechnung der metabolischen KM (exp. 0,75) erklärt werden. Bei Umwandlung der Werte werden Hunde mit geringerem Körpergewicht im Gegensatz zu schweren Tieren weniger stark berücksichtigt. Der statistisch signifikante Unterschied zwischen den einzelnen Trainingszuständen resultiert zum einen aus einer Verschiebung der Datenverteilung. Zum anderen hatten vermutlich die unterschiedlichen Außentemperaturen in den jeweiligen Messphasen einen Einfluss auf dieses Ergebnis.

Beim Vergleich der Einzelergebnisse der Zollner-Studie (2012) und der vorliegenden Studie fällt auf, dass die Richtung der Änderung der gemessenen Werte des relativen Sauerstoffverbrauchs im Versuchsverlauf der beiden Einzelstudien unterschiedlich ist. In der vorliegenden Studie konnten keine Veränderungen der relativen Sauerstoffaufnahme zwischen den drei Messphasen beobachtet werden. Bei Zollner (2012) kam es nach dem Training zu einem Anstieg und nach der trainingsfreien Zeit zu einem Abfall der relativen Sauerstoffaufnahme. Während im Ausgangszustand „untrainiert I“ in beiden Studien etwa gleich hohe Außentemperaturen herrschten fallen im weiteren Versuchsverlauf gegensätzliche Temperaturverhältnisse auf (Abbildung 36).

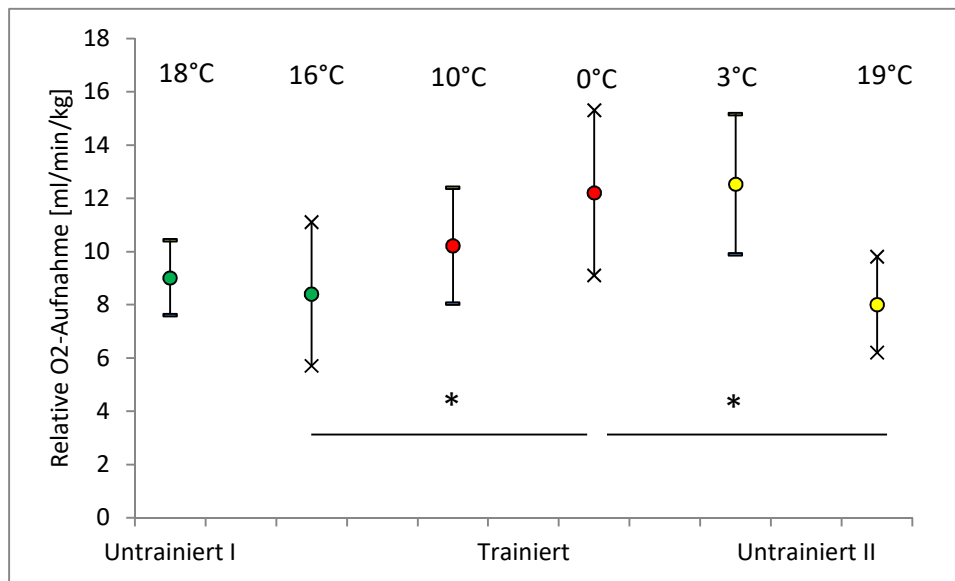


Abbildung 36: Vergleich der Zwei-Minuten-Minima der relativen Sauerstoffaufnahme [ml/min/kg] in Ruhe [MW ± StaAbw] von den insgesamt zehn Hunden der beiden Studien (neun aus der eigenen Studie, zehn aus der Studie von Zollner; 2012) im Zustand „untrainiert I“ (●), „trainiert“ (●) und „untrainiert II“ (●). Die mit dem Symbol „x“ gekennzeichneten Spannweitenlinien stellen die Werte von Zollner (2012) dar.

Dies lässt den Schluss zu, dass die Außentemperatur einen größeren Einfluss auf die relative Sauerstoffaufnahme in Ruhe hatte als Training oder die Effekte sich überlagern. Da die Tiere der vorliegenden Studie nach dem Training und im Zustand „untrainiert II“ niedrigeren Außentemperaturen ausgesetzt waren als in der Zollner-Studie (2012), könnten diese Auswirkungen auf die VO₂ gehabt haben. Ein erwarteter Anstieg der VO₂ durch Training könnte unter diesen Umständen ausgeblieben sein. Tatsächlich wurde bei der zusammenfassenden Analyse der Daten der vorliegenden Arbeit und der Arbeit von Zollner (2012) festgestellt, dass niedrige Außentemperaturen v. a. in Ruhe einen Einfluss auf die VO₂ haben- je niedriger die Umgebungstemperatur ist, desto höher ist die VO₂ (vergleiche Kapitel V, 5; Abbildung 38).

Effekte von Ausdauertraining auf den Sauerstoffverbrauch unter Belastung

Unter Belastung konnte bei keiner Geschwindigkeit ein Unterschied zwischen den Zuständen „untrainiert I“ und „trainiert“ sowohl in der absoluten als auch in der relativen und der auf die metabolische KM bezogene Sauerstoffaufnahme beobachtet werden. Auch

in der Studie von Ruoss (2011) wurden diesbezüglich beim Vergleich der Zustände „untrainiert I“ und „trainiert“ keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Zollner (2012) beobachtete lediglich bei der Geschwindigkeit 8 km/h einen signifikanten Anstieg des relativen Sauerstoffverbrauchs durch Training. Die Autorin deutet dies als eventuellen Trainingseffekt, wobei sie die fehlenden Veränderungen bei den übrigen Parametern auf eine submaximale Belastung zurückführt.

Eine mögliche Ursache für einen ausbleibenden Effekt durch Training ist eine zu geringe Belastungsintensität während der Trainingsphase. Burger (1994) stufte die Aktivität von Hunden als niedrig ein, wenn Hunde unter einer Stunde, als moderat, wenn sie ein bis drei Stunden und als hoch wenn sie drei bis sechs Stunden pro Tag trainierten. Im Hinblick auf den Energie- und Nährstoffbedarf ist die zurückgelegte Strecke jedoch wichtiger als die Intensität oder Dauer einer Trainingseinheit. Demnach wäre die Bewegung sehr gering, wenn sich Hunde in Käfigen befinden, gering, wenn sich Hunde in Gehegen oder Ausläufen aufhalten oder sich unter 2 km täglich bewegen, moderat, wenn Hunde zwischen 2 und 20 km täglich laufen, erheblich, wenn Hunde über 20 km täglich laufen und sehr hoch, wenn Hunde über 80 km täglich laufen (NRC, 2006). Da die Tiere im vorliegenden Versuch maximal 15 km täglich laufen würde man nach dieser Beurteilung deren tägliche Bewegung während der Trainingsphase lediglich als moderat einschätzen. Dazu kommt, dass die Hunde ihre zusätzliche freie Aktivität in dieser Versuchsphase erheblich einschränkten und außerhalb der Trainingseinheiten vermehrt ruhten (siehe Kapitel V, 2.5.2).

Eventuell ist die Ursache für den fehlenden Trainingseffekt auch eine gute Ausdauer der Probanden bereits zu Beginn des Trainings. Die Beagles hatten durch den täglichen, mehrstündigen Auslauf in den Gehegen eine relativ hohe Ausgangskondition. In der Studie von Musch et al. (1985) wurden Foxhounds beispielsweise vor dem Trainingsbeginn für zwei bis vier Monate in kleineren Käfigen gehalten, um sicher zu stellen, dass alle Tiere zu Beginn der Studie auf ähnlichem Level physischer Inaktivität waren. Bei der Bewertung der aus den vorherigen Arbeiten (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) und der vorliegenden Studie erhaltenen Daten muss der Umstand berücksichtigt werden, dass sich eine Verwendung der Ergebnisse auf Hunde in einem gewissen Trainingszustand beschränkt. Gemeint sind also Tiere, die zu Sport und Arbeit verwendet werden und nicht der typische Haushund. Bei Hunden mit niedrigem Aktivitätsniveau hätte dasselbe Trainingsregime eventuell stärkere Effekte hervorgerufen.

Grundsätzlich muss man beim Training zwischen aerobem und anaerobem Stoffwechsel unterscheiden. Die anaerobe Schwelle gibt Auskunft, bis zu welcher Belastungsintensität ein Mensch seine Energie noch vorrangig aerob bereitstellen kann. Durch Ausdauertraining kommt es zu einer Verschiebung der anaeroben Schwelle. Je besser ein Sportler trainiert ist, desto später wird die anaerobe Schwelle überschritten (Weineck, 1997). Anders als zum Beispiel der Mensch können Hunde extrem lange im aeroben Bereich arbeiten. Ein Trainingseffekt wird vermutlich erst deutlich, wenn der untrainierte Hund bei der Messung in den anaeroben Bereich gerät, also eine Sauerstoffschuld aufgrund einer unvollständigen Verbrennung mit Laktatproduktion besteht. Ob nach dem Training Laktat im Blut der Hunde vorhanden war wurde jedoch in keiner der drei Studien (Ruoss, 2011; Zollner, 2012 und die vorliegende Studie) gemessen. Da der Hund im aeroben Stoffwechsel sehr effizient ist, gerät er bei Ausdauerleistung eher selten in den anaeroben Bereich. Daher müssten die Hunde der vorliegenden Studie bzw. der vorhergehenden Studien für die Feststellung eines Trainingseffektes in Form eines Anstieges der VO_2 entweder deutlich schneller laufen oder deutlich untrainierter sein.

Musch et al. (1985) ermittelten bei Untersuchungen mit ein- bis zweijährigen weiblichen Foxhounds, die auf Laufbändern liefen, dass der Sauerstoffverbrauch bei jeder Steigung und Geschwindigkeit sowohl bei den trainierten als auch bei den untrainierten Tieren gleich hoch war. Dieses Ergebnis stimmt mit dem der vorliegenden Studie überein. Laut Musch et al. (1985) waren die trainierten Hunde jedoch in der Lage, bei steilerem Anstieg schneller zu laufen und ihre maximale Sauerstoffaufnahme war höher als bei den untrainierten Kontrolltieren. Da die VO_{2max} in der Regel erst bei einer Intensität erreicht wird, die der Athlet nur wenige Sekunden bis Minuten aufrechterhalten kann und die Hunde in beiden Versuchen nicht motiviert werden konnten, sich mit der Messausrüstung bis zum individuellen Leistungsmaximum zu belasten, wurde in der Studie von Zollner (2012) und der vorliegenden Studie auf eine Messung der VO_{2max} verzichtet. Zudem hatte sich die Maximalgeschwindigkeit der meisten ebenen Laufbänder als zu langsam erwiesen, um die VO_{2max} von Hunden zu messen (NRC, 2006). Ein weiterer Erklärungsansatz für den ausbleibenden Effekt nach dem Training ist eventuell der Verzicht auf die Messung der VO_{2max} , mit der die meisten Studien arbeiten. Denkbar wäre, dass es durch das Ausdauertraining zwar zu einer Steigerung der VO_{2max} gekommen ist (die nicht gemessen wurde), nicht jedoch zu einer Zunahme der Sauerstoffaufnahme unter submaximaler Belastung (Zollner, 2012).

Ein weiterer Punkt, der bei der Interpretation der Ergebnisse der einzelnen Studien berücksichtigt werden muss ist der mögliche Einfluss der Außentemperatur auf die VO_2 , der, wie in Kapitel V, 5 erläutert, einen Trainingseffekt verdecken kann. Beim Vergleich der vorliegenden Studie mit der von Zollner (2012) fällt auf, dass die Temperaturverläufe in beiden Arbeiten gegensätzlich waren und folglich während der jeweiligen Messphasen unterschiedliche Umgebungstemperaturen herrschten. Es wurde festgestellt, dass die Außentemperatur v. a. in Ruhe einen Einfluss auf die relative VO_2 (Abbildung 38) hat, der bei umso höheren Laufgeschwindigkeiten abnimmt (Abbildung 39).

Folglich zeigten die Ergebnisse der vorherigen (Ruoss, 2011; Zollner, 2012) und der vorliegenden Studie zwar, dass bei durchschnittlich aktiven Arbeits- und Sporthunden und deutlich unterschiedlichen Trainingsintensitäten kein Effekt auf den Sauerstoffverbrauch bei vergleichbarer Laufleistung zu erkennen war, aufgrund der Ergebnisse der Statistik in Kapitel V, 5 ist es jedoch möglich, dass die Effekte der Temperaturunterschiede Trainingseffekte kaschierten. Somit sind weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet wünschenswert. Eine Analyse des Einflusses der Außentemperatur bei der Ruoss-Studie (2011) wäre nötig. Interessant wäre auch eine Folgestudie mit Beagles, bei der die einzelnen Versuchsphasen in den gleichen Jahreszeiten wie in der vorliegenden Arbeit stattfänden.

2.3 Korrelation von Herzfrequenz (Polar bzw. EKG) und Sauerstoffverbrauch

Die Herzfrequenzmessung stellt beim Menschen ein einfach anzuwendendes und kostengünstiges Verfahren dar, um den aktivitätsabhängigen Sauerstoffverbrauch kontinuierlich und mit hinreichender Präzision abschätzen zu können (Zhusheng et al., 2012). Eine lineare Beziehung zwischen der Herzfrequenz und der Sauerstoffaufnahme, wie bereits durch Butler et al. (1992), Ruoss (2011), Zollner (2012), Keytel et al. (2005) und Green (2011) nachgewiesen, konnte auch in dieser Studie gezeigt werden. Da die Herzfrequenz zeitgleich mit dem Polar-Messgerät und dem EKG bestimmt wurde, konnte die Korrelation weiterführend sogar zwischen der Sauerstoffaufnahme und den Werten beider Messmethoden bestimmt und somit die Präzision beider Methoden verglichen werden. Bei der Herzfrequenzmessung mittels EKG wurde während aller drei Trainingszustände eine enge Korrelation beider Parameter beobachtet. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) lag je nach Trainingszustand im Bereich zwischen 0,735 und

0,868. Auch die Steigungen der Geraden der Regressionsgleichungen während der drei Phasen unterschieden sich nur unwesentlich. Bei der Messung der Herzfrequenz mit dem Polar-Messgerät lag R^2 zwischen 0,542 und 0,654. Es konnte also eine etwas geringere Korrelation zwischen der Herzfrequenz und dem VO_2 mit einer höheren Streuung der Messwerte festgestellt werden. Die Polarmessungen unterschätzen die Herzfrequenz tendenziell und haben schlechtere Vorhersageintervalle. Folglich stellt die Messung der Herzfrequenz mit dem EKG eine genauere Methode dar.

Beim direkten Vergleich beider Herzfrequenz-Messmethoden für die drei Trainingszustände („untrainiert I“, „trainiert“, „untrainiert II“) in Abbildung 30 wird jedoch deutlich, dass beide Methoden in Bezug auf die Steigung der Geraden vergleichbar und das Polar-Messgerät hinreichend genaue Ergebnisse liefert (R^2 : EKG 0,776; Polar-Messgerät 0,692). Beim Vergleich dieser beiden Geradengleichungen mittels Kovarianzanalyse wurde kein statistisch signifikanter Unterschied in der Steigung festgestellt, dagegen unterschieden sich die Geraden in der Lage signifikant. Eine Gerade stellte eine Parallelverschiebung der anderen dar. Unabhängig vom Messgerät wurde ein Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch aufgezeigt, Abweichungen in der Lage beider Regressionsgeraden ergeben sich jedoch aus den jeweiligen Messwerten beider Geräte, die aufgrund jeweils unterschiedlicher Messmethoden voneinander abweichen. Auch hier wurde eine systematische Unterschätzung der Herzfrequenz durch das Polar-Messgerät bestätigt (vergleiche Kapitel V, 1.2). Folglich müssen bei der Interpretation von durch Polargurten gemessenen Herzfrequenz-Werten die großen Vorhersageintervalle und eine Verschiebung der Lage der Geraden (im Vergleich zu durch EKG gemessenen Werten) beachtet werden.

Da die Messung mit dem Polar-Messgerät vor allem im Feld die deutlich praktikablere Methode ist, dürfte letztendlich die Wahl der Methodik durch die Möglichkeiten in verschiedenen Anwendungsbereichen ausschlaggebend sein.

2.4 Effekte von Ausdauertraining auf die Muskeldicke

In der vorliegenden Studie wurden die Auswirkungen von Ausdauertraining auf die Dicke ausgewählter Muskeln von Hunden untersucht. Sowohl die Muskeln der Vordergliedmaße, M. supraspinatus und M. infraspinatus, als auch der M. biceps femoris an der Hintergliedmaße und der Lendenmuskel M. longissimus dorsi zeigten nach dem Training eine geringe, jedoch signifikante Dickenzunahme. Dagegen zeigte sich bei der

Vorgängerstudie (Zollner, 2012), in der an zum Teil denselben Hunden die gleichen Lokomotionsmuskeln untersucht wurden, keine Zunahme der Muskeldicke. Die Muskeldicke des M. biceps femoris der Tiere reduzierte sich hier durch das Training. Einerseits könnte eine Abnahme des intramuskulären Fettgewebes als Ursache für die fehlende Zunahme der Muskeldicke in der Vorgängerstudie verantwortlich sein, andererseits die geringe Trainingsintensität. Bei allen anderen untersuchten Muskeln konnten in der genannten Vorgängerstudie keine statistisch signifikanten Veränderungen der Muskeldicken durch Training ermittelt werden.

Die Beagles absolvierten in der früheren Studie ein weniger ausgeprägtes Ausdauertraining von nur drei statt wie im aktuellen Versuch sechs Trainingseinheiten pro Woche. Zudem betrug das Grundlagentraining bei Zollner (2012) nur 40 statt 90 Minuten und fand bei niedrigeren Geschwindigkeiten statt. Bei der Vorgängerstudie von Ruoss (2011) an FBI-Hunden konnte ebenso keine Dickenzunahme der Lokomotionsmuskeln festgestellt werden. Die Abweichungen ergeben sich hier vermutlich ebenfalls aus einer höheren Intensität der jetzigen Studie aufgrund einer längeren Dauer des Trainingsregimes (16 vs. sechs Wochen). Die Messungen der Muskeldicke ausgewählter Lokomotionsmuskeln von Gerth et al. (2009a) an schlittenziehenden Grönlandhunden zeigte eine Zunahme der Muskeldicke infolge höherer Arbeitsbelastung im Winter. Auch hier kann von einer deutlich höheren Arbeitsleistung im Vergleich zu den Sommermonaten ausgegangen werden. Die Ultraschalluntersuchung ergab bei dem Versuch von Gerth et al. (2009a) eine weitaus stärkere Zunahme der Muskulatur (bis zu 10 %) im Vergleich zu der vorliegenden Studie. Die Hunde absolvierten jedoch, anders als die Hunde der vorliegenden Studie, durch die Belastung des Schlittens ein kombiniertes Ausdauer- und Krafttraining. In der Sportphysiologie des Menschen passt sich der Muskel je nach Trainingsart an. Krafttraining führt zu einer Zunahme der Größe des Muskels aufgrund einer Hypertrophie der Muskelfasern (Boonyarom und Inui, 2006; Kraemer et al., 1995). Ähnliches muss für die Muskulatur des Hundes angenommen werden. Sowohl Morpurgo (1897) als auch Siebert (1928) berichten, dass Training bei Hunden zu einer erhöhten Muskelmasse durch Hypertrophie individueller Muskelfasern, nicht durch Hyperplasie führt.

Reines Ausdauertraining führt beim Menschen ebenso zu Anpassungen im trainierten Muskelgewebe. Es wird eine erhöhte Kapillarisation (Andersen und Henriksson, 1977; Rösler et al., 1985) und Mitochondriendichte (Hoppeler et al., 1985) bei unveränderter oder leicht reduzierter Querschnittsfläche des Skelettmuskels (Kraemer und Spiering, 2006) beobachtet. Diese Veränderungen verbessern die Fähigkeit des trainierten Muskels,

Sauerstoff zu transportieren und zu nutzen. Die Anpassungen verringern die Diffusionsdistanz von Sauerstoff von den Kapillaren zu den Mitochondrien und verbessern die oxidative Kapazität (Kraemer und Spiering, 2006). Daher wird beim Menschen die Leistungsfähigkeit beim reinen Ausdauertraining auch ohne starke Masseeffekte gewährleistet. Auch bei den Vorgängerstudien von Ruoss (2011) und Zollner (2012) war dies der Fall (Gerth et al., 2015a). Die Ergebnisse der Studie von Gerth et al. (2015a) verdeutlichen die Fähigkeit von Hunden, als Reaktion auf Training die Anzahl der Mitochondrien in den Lokomotionsmuskeln zu erhöhen und deren innere Struktur schnell und flexibel anzupassen.

Eine Zunahme der durchschnittlichen Querschnittsfläche der Muskelfasern des M. vastus lateralis von Hunden in Folge eines Ausdauertrainingsprogrammes mit immer längeren Laufbandeinheiten wurde bei einer Studie von Cabric und James (1983) beobachtet. Diese trainingsbedingte Muskeldickenzunahme deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie. Kohlsrauch (1929) behauptete, dass die Muskulatur von Hunden nur bei hohen Geschwindigkeiten des Trainings hypertrophiert. Dies erklärt, warum trainierte Greyhounds subjektiv muskulöser sind als untrainierte Greyhounds, während Hunde, die ein Ausdauertraining durchführen, nicht unbedingt einen erhöhten Muskelanteil aufweisen (NRC, 2006). In der vorliegenden Studie wurden die Geschwindigkeiten der Trainingseinheiten schrittweise und konstant über die gesamte Trainingsphase erhöht. Durch das intensive Training kam es zu keinen Veränderungen des Körpergewichts. Auf einer Skala von eins bis neun, wie sie beispielsweise von Laflamme (1997) definiert wurde, liegt ein idealer Body Condition Score bei den meisten Hunderassen bei vier bis fünf. Die Hunde waren während des gesamten Versuchszeitraumes schlank (BCS 5/9), durch das Training veränderte sich jedoch der Körperbau der Tiere. Die Hunde wirkten insgesamt muskulöser und wiesen vermutlich relativ mehr Muskelmasse auf. Hätten die Hunde jedoch im trainierten Zustand einen höheren Anteil an metabolisch aktiver Körpermasse besessen, wäre auch die RMR nach dem Training erhöht gewesen. Dennoch bewirkte das Ausdauertraining die gewisse Zunahme (bis zu 2 %) der Dicke aller untersuchten Muskelgruppen.

2.5 Effekte von Ausdauertraining auf die freie Aktivität

Die freie Aktivität der Hunde wurde mithilfe von dreiachsigen Beschleunigungssensoren gemessen. Bewegungssensoren sind die geeignetsten Instrumente, um körperliche Aktivität

zu messen (Westerterp, 2009). Sie geben Auskunft über Menge, Frequenz, Intensität und Dauer der Aktivität von Mensch oder Tier (Westerterp und Plasqui, 2004; Yam et al., 2011). In zahlreichen Studien fanden Accelerometer bereits Anwendung, um die Aktivität von Hunden (Ruoss, 2011; Zollner, 2012; Hansen et al., 2007; Dow et al., 2009; Yam et al., 2011; Brown et al., 2010) und anderen Tieren einschließlich des Menschen zu erfassen (Halsey et al., 2009; Wilson et al., 2006; Welk et al., 2004). Da die Geräte tragbar, leicht und nicht invasiv sind (Yam et al., 2011), handelt es sich um eine bewährte und einfache Methode der Aktivitätsmessung.

2.5.1 Effekte der Wochentage

Wie in dem Versuch von Zollner (2012) unterschieden sich bei den Hunden der vorliegenden Studie die Werktag (Montag bis Freitag) nicht hinsichtlich der Aktivität (Tabelle 21). Da die Tiere in der Vorgängerstudie (Zollner, 2012) an den Wochenenden eine statistisch signifikant geringere freie Aktivität im Vergleich mit den Werktagen zeigten, wurde in der vorliegenden Studie auf eine Auswertung der Samstag und Sonntag verzichtet. Ein ähnlicher Effekt wie in der Zollner-Studie - nämlich eine statistisch signifikant höhere freie Aktivität an den Werktagen - wurde auch bei einer anderen Studie derselben Arbeitsgruppe (Ruoss, 2011) beobachtet. Die Hunde von Ruoss, die unter identischen Haltungsbedingungen lebten, waren allerdings nicht nur an den Wochenenden, sondern auch an den Freitagen signifikant weniger aktiv als an den restlichen Wochentagen. Die Beagles der vorliegenden Studie hatten gerade unter der Woche einen weitgehend gleichbleibenden Tagesablauf mit den gewohnten Tierpflegern und ohne Wechsel der Umgebung. Die Arbeitszeiten der Pfleger und die festgelegten Zeiten der Hunde in den Außenausläufen waren konstant. Auch während der Trainingsphase fand das Trainieren der Beagles auf dem Laufband immer in der gleichen Reihenfolge von morgens bis zum frühen Nachmittag statt. Äußere Störfaktoren haben einen Einfluss auf die freie Aktivität von Hunden (Dow et al., 2009). Ein offensichtlich grundlegender Unterschied der Aktivität von Labor- und Begleithunden ist, dass die Umwelt eines Begleithundes hoch variabel und vom Tagesablauf des Besitzers beeinflusst ist. Im Gegensatz dazu haben Versuchshunde ein ziemlich reglementiertes Leben mit regelmäßigen Abläufen (Brown et al., 2010). Unabhängig vom Tag der Woche ist ihr Alltag normalerweise einheitlich (Michel und Brown, 2011). Diese tägliche Routine,

unabhängig vom Wochentag, führte von Montag bis Freitag zu ähnlich hohen Aktivitätswerten bei den Beagles.

2.5.2 Effekte der Versuchsphasen

Es wurden die freien Aktivitäten in den Versuchsphasen untersucht: in den jeweils drei Messphasen (vor dem Training „untrainiert I“, nach dem Training „trainiert“ und nach der trainingsfreien Zeit „untrainiert II“), in der Trainingsphase und in der trainingsfreien Zeit. Es wurden also insgesamt fünf Zeiteinheiten unterschieden (Abbildung 37).

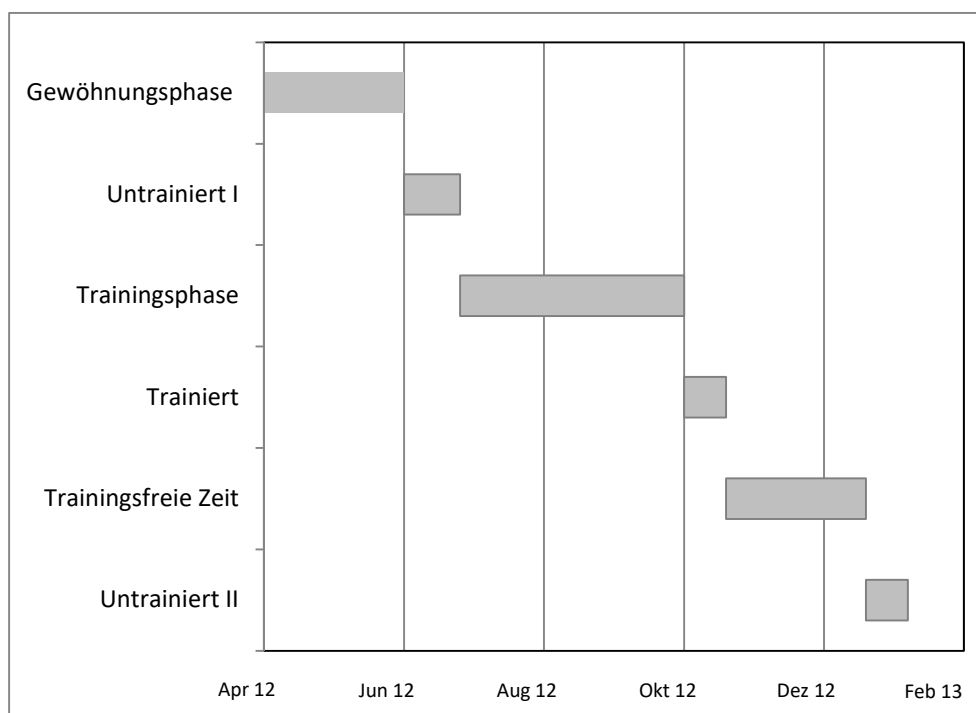


Abbildung 37: Zeitplan des Versuchs: Gewöhnungsphase, Messphase „untrainiert I“, Trainingsphase, Messphase „trainiert“, trainingsfreie Zeit, Messphase „untrainiert II“. Die freie Aktivität wurde erst ab „untrainiert I“ aufgezeichnet.

Bei der Auswertung der freien Aktivität in den einzelnen Versuchsphasen ergab sich eine signifikante Abnahme der freien Bewegung während der Trainingsphase. Keine Unterschiede in der Aktivität zeigten die Hunde beim Vergleich der trainingsfreien Phasen untereinander (Abbildung 33). In jeder anderen Phase des Versuchs bewegten sich die Tiere mehr als in der Zeit des Ausdauertrainings. Sowohl die Umgebungstemperatur als auch die Arbeitsbelastung haben einen Einfluss auf die freie Aktivität der Tiere. Trotz der

gleich hohen durchschnittlichen Außentemperaturen (siehe Tabelle 22) unterschied sich die freie Aktivität der Beagles in der Messphase „untrainiert I“ und der Trainingsphase signifikant voneinander. Möglicherweise kam es in der Trainingsphase zu einem additiven Effekt- die Tiere reduzierten ihre freie Bewegung aufgrund des täglichen Laufbandtrainings und der gleichzeitig relativ hohen Umgebungstemperatur (durchschnittlich 19°C, siehe Tabelle 22), da das Training in den Sommermonaten (Juli bis Mitte Oktober) stattfand. Bei niedrigen Temperaturen bewegen sich Hunde im Allgemeinen mehr als bei Hitze. Dass die Umgebungstemperatur einen hohen Einfluss auf die allgemeine Aktivität der Beagles hatte, wurde bereits in der vorherigen Arbeit von Zollner (2012) mithilfe der Temperaturgruppen ermittelt und in der vorliegenden Arbeit (Abbildung 34) bestätigt: Je höher die Außentemperatur war, desto weniger bewegten sich die Hunde. Dies zeigt auch Abbildung 35, bei der Aktivitäts- und Temperaturdaten während der Versuchszeit dargestellt sind. Reduzierte Aktivität als Reaktion auf eine erhöhte Umgebungstemperatur wurde auch bei Ratten beobachtet (Shido et al., 1991), da hierdurch das Hyperthermie-Risiko begrenzt werden kann. Die meisten Säugetiere meiden tagsüber die Hitze ihrer Umgebung indem sie sich an schattige, kühlere Plätze zurückziehen (Terrien et al., 2011).

Dass neben diesen Temperatureffekten auch das tägliche Training einen Einfluss auf die freie Bewegung der Hunde hatte, wird ersichtlich, wenn die Aktivität und die Außentemperatur in den jeweiligen Messphasen miteinander verglichen werden. Eine Differenzierung beider Effekte wird dann möglich. Trotz unterschiedlich hoher Temperaturen in jeder Messphase („untrainiert I“: 19°C, „trainiert“: 8°C, „untrainiert II“: 0°C) bewegten sich die Beagles durchschnittlich ähnlich viel. Daraus wird ersichtlich, dass auch das tägliche Training einen Einfluss auf die Bewegung der Tiere außerhalb der Laufbändeinheiten hat. In der vorigen Studie von Zollner (2012) wiesen die Hunde während der Trainingszeit eine höhere Aktivität als zur trainingsfreien Zeit auf. Da bei diesem Versuch der Zeitraum des Trainings in der kälteren Jahreszeit (Oktober bis Februar), die trainingsfreie Zeit jedoch in den Frühlings- und Sommermonaten durchgeführt wurde, lässt sich das unterschiedliche Ergebnis wiederum durch die Wechselwirkung von Außentemperatur und Training erklären. Die größte freie Aktivität wäre vermutlich bei sehr kühlen Temperaturen in einer trainingsfreien Zeit erzielt worden. Bei einer weiteren Studie, die den Einfluss von Ausdauertraining auf die freie Aktivität von Hunden untersuchte (Ruoss, 2011), wurde wie in dem vorliegenden Versuch eine Kompensation der Mehrbelastung durch geringere freie Aktivität in der Trainingsphase

beobachtet. Vergleichbare Effekte von Training auf die freie Aktivität ergab auch eine Studie am Menschen. Bei älteren Testpersonen verursachte das Training eine kompensatorische Abnahme der trainingsunabhängigen Aktivität. Junge Probanden zeigten dagegen keine Beeinflussung der Bewegung außerhalb der Trainingszeiten (Westerterp, 2008). Ein ähnlicher Versuch ebenfalls am Menschen ergab dagegen keine Änderung der trainingsfreien Aktivität (Meijer et al., 1991a). Auch hier könnten also noch andere Einflussfaktoren wie die Umgebungstemperatur die Ergebnisse moduliert haben.

Wie im Kapitel V, 2.2.2 beschrieben, konnte kein signifikanter Effekt des Ausdauertrainings auf den relativen Sauerstoffverbrauch unter Belastung ermittelt werden. Aufgrund der vermehrten Ruhezeiten der Tiere und der daraus resultierenden geringeren freien Aktivität könnte ein gewisser Ausgleich der Mehrbelastung durch das Training erfolgt sein. Ob das kompensatorische Verhalten der Tiere eine Beeinflussung und Abmilderung des Trainingseffektes dargestellt hat oder ob es beim Hund keine oder geringere derartige Trainingseffekte gibt, kann an dieser Stelle also nicht abschließend geklärt werden. Ein vergleichbarer Versuch mit Hunden in komplett klimatisierter Umgebung, also ohne Aufenthalt im Freien, könnte hier eventuell mehr Aufschluss geben, ist aber aus Tierschutzgründen nicht durchführbar.

3. Reversibilität von Trainingseffekten

In der Literatur wird angegeben, dass sich die meisten durch Training hervorgerufenen Veränderungen beim Hund nach vier bis fünf Wochen Inaktivität zurückbilden (Tipton et al., 1974). Sneddon et al. (1989) berichteten, dass sich die Kondition von Kanaanhunden innerhalb von drei bis fünf Wochen nach Beendigung des Trainings verschlechterte.

3.1 Reversibilität der Veränderungen der Herzfrequenz

Nach dem Training konnte eine Erhöhung der mittleren Ruheherzfrequenz der Hunde festgestellt werden. Auch nach der trainingsfreien Zeit zeigte die mittlere Herzfrequenz in Ruhe keine Absenkung, sondern war immer signifikant höher als im Zustand „untrainiert I“. Eine Reversibilität der durch Training oder Außentemperatur ausgelösten Veränderungen der Ruheherzfrequenz bestand somit nicht. Einerseits könnte es sich also um Trainingseffekte handeln, die während der gewählten Zeitdauer ohne Training nicht zurückgebildet werden. Andererseits kann eine im Versuchsverlauf immer kältere Umgebungstemperatur zu den Veränderungen der Ruheherzfrequenz geführt haben.

Weiterhin kann das Vorliegen äußerer Einflussfaktoren, die zu Stressreaktionen geführt haben könnten, nicht vollständig ausgeschlossen werden. Psychisch gestresste Hunde haben signifikant ansteigende Herzfrequenzen (Gaebelein et al., 1977; Galosy et al., 1979). Hunde, die psychischem Stress ausgesetzt waren, wiesen in einer Untersuchung von Galosy et al. (1979) sowohl an den Testtagen als auch an den Ruhetagen eine signifikant höhere durchschnittliche Herzfrequenz über den Tag auf als die Kontrollgruppe. Dagegen spricht, dass die Tiere in der vorliegenden Studie über den Versuchszeitraum eher besser an die Messprozedur gewöhnt sein müssten. Dennoch ist nicht vollständig auszuschließen, dass unerkannt gebliebene, äußere Einflüsse (eventuell auch positiv empfundener Stress, sogenannter Eustress) auf die Tiere eingewirkt haben und zu einer Erhöhung der Ruheherzfrequenz führten.

Training hatte auf die mittlere Herzfrequenz unter Belastung unmittelbar keinen Einfluss. Lediglich bei einer Laufgeschwindigkeit von 12 km/h kam es im Vergleich der Zustände „trainiert“ und „untrainiert II“ zu einer signifikant niedrigeren mittleren Herzfrequenz im untrainierten Zustand. Auch bei der maximalen Herzfrequenz kam es bei dieser Geschwindigkeit zu deutlich absinkenden Werten im Versuchsverlauf. Ob es sich hierbei um einen verlängerten Trainingseffekt, der nur bei hohen Geschwindigkeiten deutlich wurde, oder aber um Gewöhnung und dadurch Stressreduktion handelt, kann nicht zweifelsfrei beurteilt werden. Hierüber könnte letztendlich nur eine deutlich verlängerte trainingsfreie Phase im Anschluss an eine Trainingsphase Aufschluss geben, in der die Hunde zwar an die Messprozedur gewöhnt, aber in einem untrainierten Zustand sind. Hierbei könnten aber verblassende Erfahrung mit dadurch zunehmender Erregung und ein nachlassender Trainingseffekt wiederum zu Überlagerungen führen.

3.2 Reversibilität der Veränderungen des Energiestoffwechsels

3.2.1 Reversibilität der Veränderungen von Atemfrequenz und Atemminutenvolumen

Während in der vorliegenden Studie in Ruhe keine Effekte von Training auf die Atemfrequenz und das Atemminutenvolumen festgestellt wurden, konnte unter Belastung im Vergleich zur Messung im untrainierten Zustand I eine signifikant niedrigere Atemfrequenz bei allen Geschwindigkeiten und bei der Geschwindigkeit 12 km/h ein Rückgang des Atemminutenvolumens durch Training beobachtet werden. In der Phase „untrainiert II“ ging die Atemfrequenz während der Laufleistung nicht auf den Wert vor

Trainingsbeginn zurück sondern sank weiter signifikant ab. Diese erniedrigte Atemfrequenz nach der trainingsfreien Zeit könnte auf die tiefere Außentemperatur während der Messphase „untrainiert II“ (0°C) im Vergleich zu der Messphase „trainiert“ (8°C) zurückzuführen sein. Diesel et al. (1990) stellten in ihrer Studie mit Kälbern fest, dass Kälte eine Hypoventilation stimuliert, um Vorteile bei der Wärmeregulierung zu schaffen. In der vorliegenden Studie erfolgten die Messungen im temperierten Innenbereich, allerdings wurden die Tiere erst kurz vor Messbeginn aus dem Freien geholt. Auch Zollner (2012) stellte unter Belastung (12 km/h) eine signifikant niedrigere Atemfrequenz fest, die nach der trainingsfreien Zeit allerdings wieder den Ausgangswert erreichte. Die Autorin bringt diese Beobachtungen ebenso mit den Veränderungen der Außentemperaturen in Verbindung.

Eine im Verlauf des gesamten Versuchs stattgefundene Gewöhnung mit sinkender Erregung während der Laufarbeit könnte dagegen in der vorliegenden Studie insgesamt zu einer zunehmenden Verringerung der Atemfrequenz bei Leistung geführt haben. Die Werte des Atemminutenvolumens blieben nach der trainingsfreien Zeit konstant, nur bei der Geschwindigkeit 12 km/h wurde ein weiterer Abfall des Atemminutenvolumens festgestellt. Beim Vergleich der Phasen „untrainiert I“ und „untrainiert II“ konnte bei jeder Geschwindigkeit ein Abfall des Atemminutenvolumens beobachtet werden. Auch dies kann Ausdruck eines Gewöhnungsprozesses der Tiere an die Messprozedur im Verlauf des Versuches sein. Die damit verbundene verminderte Aufregung kann sich gerade bei den hohen Geschwindigkeiten während des Schwellentests auf das Atemminutenvolumen ausgewirkt haben. Möglich wäre dagegen auch, dass die Dauer der trainingsfreien Zeit nicht ausreichte, um die Veränderungen der Atemfrequenz unter Arbeit auf das Ausgangsniveau zurückzuführen. Aber auch eine Verstärkung eines Trainingseffektes über den Trainingszeitraum hinaus ist denkbar. Festzuhalten bleibt, dass im Gegensatz zu den Versuchen von Zollner (2012) nach der trainingsfreien Zeit bei 12 km/h kein Rückgang des Atemminutenvolumens auf die „untrainiert I“-Ausgangswerte erfolgte, sondern ein Abfall des Atemminutenvolumens festgestellt wurde. Dies wurde auch bei der Atemfrequenz beobachtet. Eine Reversibilität lag somit im gewählten Zeitraum bei beiden Parametern nicht vor. Entsprechend können die festgestellten Veränderungen von Atemfrequenz und Atemminutenvolumen im Verlauf des Versuchs nicht zweifelsfrei einem Trainingseffekt zugeordnet werden und könnten auch auf erniedrigte Außentemperaturen oder auf zunehmende Gewöhnung der Hunde im Versuchsverlauf zurückzuführen sein.

3.2.2 Reversibilität der Veränderungen des Sauerstoffverbrauchs

In Ruhe und unter Belastung konnten durch das Ausdauertraining keine Effekte auf die relative Sauerstoffaufnahme festgestellt werden. Auch nach der trainingsfreien Zeit änderte sich dieser Parameter nicht. Ob Unterschiede der Trainingsintensität, der Trainingsdauer, eine relativ hohe Ausdauer der Tiere bereits zu Beginn des Trainings und/ oder unterschiedliche Außentemperaturen dafür verantwortlich sind, kann anhand der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden. In der Studie von Zollner (2012) zeigte die relative VO_2 in Ruhe deutliche Trainings- bzw. Inaktivitätseffekte, indem der Parameter durch das Training anstieg, um nach der trainingsfreien Zeit wieder abzufallen. In einem Versuch mit Menschen (Coyle et al., 1984) wurde vergleichbar zu den Ergebnissen von Zollner (2012) eine signifikante Abnahme der Sauerstoffaufnahme durch die trainingsfreie Zeit beobachtet, jedoch war diese nach 84 Tagen immer noch höher als bei untrainierten Kontrollpersonen. Eine weitere Studie bei Menschen stellte sogar eine rasche Abnahme der Sauerstoffaufnahme bereits nach vier Wochen ohne Training fest (Klausen et al., 1981). Natürlich können Erkenntnisse, die an verschiedenen Spezies (in diesem Fall Mensch und Hund) gewonnen wurden, nicht unkritisch miteinander verglichen werden. Zudem wurde sowohl in der vorliegenden als auch in der Zollner-Studie (2012) kein aktives Detraining (wie z. B. in der Studie Klausen et al., 1981) durchgeführt.

Bei Bezug der Sauerstoffaufnahme auf die metabolische KM der Tiere wurde in Ruhe ein signifikanter Anstieg beim Vergleich der Zustände „untrainiert I“ und „untrainiert II“ festgestellt. Dies liegt vermutlich neben der stärkeren Berücksichtigung von schweren Hunden bei dieser Berechnung auch an dem Einfluss der Temperaturunterschiede in den Messphasen.

Unter Belastung unterschieden sich die untrainierten Hunde („untrainiert I“) und die Hunde nach der Trainingspause („untrainiert II“) von Ruoss (2011) nicht in der VO_2 bei 5, 10 und 15 km/h. Bei Zollner (2012) kam es bei allen drei Geschwindigkeiten zu einem signifikanten Absinken des Parameters zwischen den Zuständen „trainiert“ (teilweise auch „untrainiert I“) und „untrainiert II“. Die Autorin begründet dies mit der Gewichtszunahme der Hunde nach der trainingsfreien Zeit, vor allem einer Zunahme der Fettmasse und einer Abnahme der metabolisch aktiven Masse.

Bei der Umrechnung der relativen Sauerstoffaufnahme auf die metabolische KM unter Belastung konnten in der vorliegenden Studie keine Unterschiede zwischen den drei Trainingszuständen beobachtet werden.

3.3 Reversibilität der Veränderungen der Muskeldicke

Durch die zehnwöchige trainingsfreie Zeit kam es an drei der vier untersuchten Muskeln (M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. biceps femoris) zu einer signifikanten Abnahme der Muskeldicke. Dies ist konsistent zu Angaben aus der Literatur, die alle strukturellen und funktionellen Modifikationen der Muskulatur als reversibel beschreiben (Hoppeler und Flück, 2002). Sobald sich die Umweltbedingungen ändern und die Beanspruchung der Muskulatur durch einen äußeren Stimulus (in diesem Fall das tägliche Training) wegfällt, kommt es zu erneuten Anpassungen des Gewebes (Costill et al., 1985, Coyle et al., 1984). Einzig am M. longissimus dorsi konnte nach der trainingsfreien Zeit keine signifikante Abnahme der Muskeldicke beobachtet werden. Gleichzeitig wurde an diesem Muskel durch das Training lediglich eine geringe Zunahme der Muskeldicke im Vergleich zu den anderen Muskeln beobachtet. Eine ebenso geringe Abnahme der Muskeldicke nach der trainingsfreien Zeit könnte daher lediglich nicht statistisch abzusichern gewesen sein. In der Vorgängerarbeit von Zollner (2012) konnten am M. supra- und infraspinatus weder durch Training noch durch die trainingsfreie Zeit statistisch signifikante Veränderungen ermittelt werden. Auch am M. biceps femoris zeigte bei ihr die trainingsfreie Zeit keinen signifikanten Effekt. Dagegen wurde in dieser Phase der M. longissimus dorsi signifikant dicker, was wohl durch einen Messfehler oder die signifikante Körpermassenzunahme der Tiere zu erklären ist. Da es in der Studie von Zollner (2012) durch das Training zu keinen Veränderungen der Muskeldicke kam, wurden in der trainingsfreien Zeit auch keine Rückbildungsprozesse beobachtet. Auch in der Studie von Ruoss (2011) hatte Training keine Auswirkung auf die Muskeldicke verschiedener Lokomotionsmuskeln, daher wurde auch nach der trainingsfreien Zeit keine Veränderung festgestellt. Bei beiden Vorgängerarbeiten reichten vermutlich die Trainingsdauer bzw. -intensität nicht aus, um Veränderungen an den untersuchten Muskelgruppen hervorzurufen.

4. Sauerstoffaufnahme, Energieverbrauch, Aktivität und Futteraufnahme

Die Daten der vorliegenden Dissertation bieten sich für einen Vergleich der erhobenen Werte zum Sauerstoffverbrauch und zur Futteraufnahme an. Zunächst wurde der Sauerstoffverbrauch in Ruhe auf 24 Stunden hochgerechnet, um den Energiebedarf der sieben Hunde in Ruhe abzuschätzen. Es errechnete sich ein mittlerer Wert von 0,57 MJ/kg^{0,75}. Dieser Wert entspricht in etwa dem Erhaltungsbedarf an Energie von sehr

aktiven Hunden (NRC 2006) und ist damit deutlich höher als der Basalstoffwechsel (basal metabolic rate) von ca. $0,3 \text{ MJ/kg}^{0,75}$. Dies dürfte zum Teil auf Erregung zurückzuführen sein, wie bereits oben ausgeführt. Auffallend sind hier aber die von der Außentemperatur abhängigen Differenzen. Im Herbst und Winter waren die Werte in Ruhe deutlich höher als im Sommer (Tabelle 23), was den oben besprochenen Einfluss der Außentemperaturen auch auf die Messung im Innenraum nochmals verdeutlicht.

Tabelle 23: Hochrechnung der Sauerstoffaufnahme in Ruhe, berechnet über 24 Stunden als Tagesbedarf an Energie in Ruhe [MW \pm StaAbw] von sieben Hunden.

Messphase	Energiebedarf/Tag in Ruhe [MJ/kg ^{0,75}]	Jahreszeit
Untrainiert I	$0,49 \pm 0,05$	Sommer
Trainiert	$0,60 \pm 0,10$	Herbst
Untrainiert II	$0,64 \pm 0,07$	Winter

Ebenso wurde der Leistungsbedarf an Energie für das Laufen auf dem Laufband berechnet. Dieser wurde dem über 24 Stunden extrapolierten Ruhebedarf zugerechnet, um auf diese Weise eine Schätzung des Gesamtbedarfs zu erhalten. Dabei wurde die spontane Bewegung zunächst nicht berücksichtigt. Der Leistungsbedarf für die insgesamt 15 Minuten auf dem Laufband betrug zwischen 2,3 und 4,5 % des so errechneten Gesamtbedarfs. Dies zeigt einmal mehr, dass kurze Bewegung den Energiebedarf nur wenig beeinflusst.

Berechnet man den Energiebedarf pro gelaufenen Kilometer pro kg metabolischer Körpermasse (ohne Einbezug des getragenen Gewichtes, das etwa 6 % der KM ausmachte), so zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Der Mittelwert betrug bei 5 km/h $13,7 \text{ kJ/kg}^{0,75}/\text{km}$, bei 8 km/h $15,3 \text{ kJ/kg}^{0,75}/\text{km}$ und bei 12 km/h $20,4 \text{ kJ/kg}^{0,75}/\text{km}$. Die Abhängigkeit zur Geschwindigkeit in km/h war nahezu linear mit einer Steigung von 0,98, obwohl die maximale Sauerstoffaufnahmekapazität keineswegs erreicht war. Dies steht im Widerspruch zu älteren Arbeiten (Schmidt-Nielsen, 1984; Blaxter, 1989). Der Energieverbrauch pro Kilometer war im Vergleich zu Schriftumsdaten (NRC 2006) relativ hoch. Es ist unwahrscheinlich, dass es sich hier um einen systematischen Messfehler handelt, da der Energieverbrauch der Tiere (Futter versus über Sauerstoffaufnahme berechneter) plausibel war. Möglich ist es, dass die Bedingungen

unter denen in den eigenen Untersuchungen gearbeitet wurde, anstrengender waren als in den vorangegangenen Studien. Es kommt hier der Atemwiderstand der Masken, die Beschaffenheit des Untergrundes, das zu tragende Gewicht von ca. 800 g und der Luftwiderstand durch die Windmaschine infrage. Insbesondere letzteres könnte sich von vorangegangenen Untersuchungen erheblich unterscheiden. Dies würde auch den oben erwähnten Widerspruch hinsichtlich des Einflusses der Geschwindigkeit am besten erklären, da die Windmaschine bei höheren Geschwindigkeiten stärker eingestellt wurde – und zwar genauso hoch wie die Geschwindigkeit des Laufbandes, um eine Überhitzung der Tiere zu vermeiden. In den oben erwähnten, vorangegangenen Studien werden im methodischen Teil keine Windmaschinen aufgeführt. Daher ist es durchaus möglich, dass die eigenen Daten den tatsächlichen Energieverbrauch beim Laufen besser widerspiegeln als die ohne Laufwind erhobenen Daten. Insbesondere der lineare Anstieg des Energieverbrauchs pro Kilometer mit der Geschwindigkeit ist weitaus plausibler als die Beobachtung, dass dieser Anstieg erst erfolgt, wenn die maximale O₂-Aufnahmekapazität erreicht ist.

Der Gesamtbedarf - berechnet aus der Sauerstoffaufnahme in Ruhe und während des Laufens auf dem Laufband - betrug im Mittel 0,59 MJ/kg^{0,75}. Damit liegt er etwas höher als der mittlere Erhaltungsbedarf aktiver Hunde nach NRC (2006) von 0,54 MJ/kg^{0,75}.

Aus der Futteraufnahme errechnet sich eine Energieaufnahme von 0,62 MJ/kg^{0,75}. Hier kann von einer guten Übereinstimmung gesprochen werden, da bei der Berechnung des Energieverbrauchs über die Sauerstoffaufnahme die spontane Bewegung nicht berücksichtigt wird. Die Futteraufnahme in den drei Messabschnitten „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ folgt nicht eindeutig dem durch die Sauerstoffaufnahme abgeschätzten Energiebedarf. Allerdings kam es vor allem in „untrainiert II“ auch zu Gewichtsabnahmen. In diesem Abschnitt war die Energieaufnahme mit dem Futter niedriger als der durch die Sauerstoffaufnahme geschätzte Energieumsatz. In den anderen beiden Phasen gab es keine Gewichtsabnahme und die Energieaufnahme aus dem Futter war gleich hoch oder höher als der aus der Sauerstoffaufnahme geschätzte Umsatz (Tabelle 24).

Tabelle 24: Vergleich des Tagesenergiebedarfs in Ruhe [MJ/kg^{0,75}], berechnet aus dem Sauerstoffverbrauch und der Futteraufnahme [MW ± StaAbw] in den einzelnen Messphasen bzw. Jahreszeiten von sieben Hunden.

Messphase	Energiebedarf/Tag berechnet aus dem Sauerstoffverbrauch [MJ/kg ^{0,75}]	Energiebedarf/Tag berechnet aus der Futteraufnahme [MJ/kg ^{0,75}]	Jahreszeit
Untrainiert I	0,50 ± 0,06	0,66 ± 0,14	Sommer
Trainiert	0,62 ± 0,11	0,60 ± 0,04	Herbst
Untrainiert II	0,66 ± 0,07	0,61 ± 0,09	Winter

Die Aktivität unterschied sich nicht statistisch, sie war jedoch numerisch in „untrainiert I“ bei den Hunden, deren Daten vollständig ausgewertet werden konnten höher, so dass sie die größere Differenz zwischen den beiden Schätzungen des Energiebedarfs erklärt. Die grundsätzlich gute Übereinstimmung zwischen den durch die Futteraufnahme und die Sauerstoffaufnahme ermittelten Werten weist auf eine hohe Plausibilität der Daten hin. Sie zeigt aber auch, dass eine sorgfältige Futterzuteilung bei Gewichtskonstanz (hier die Ausnahme „untrainiert II“ mit Gewichtsabnahmen) selbst im Zusammenhang mit Trainingsveränderungen geeignet ist, um den Energiebedarf von adulten Hunden abzuschätzen.

5. Metaanalyse unter Einbeziehung der Daten von Zollner (2012)

Die Daten der vorliegenden Studie wurden mit denen von Zollner (2012) kombiniert, um den Einfluss des Trainingszustandes auf den Sauerstoffverbrauch und die Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Außentemperatur statistisch zu testen (Kapitel IX, 4). Zudem wurde eine lineare Regression zwischen der Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) und der relativen Sauerstoffaufnahme, einmal pro kg Körpermasse (y_1 ; ml/min/kg) und zusätzlich pro kg metabolischer Körpermasse (y_2 ; ml/min/kg^{0,75}) erstellt.

Einfluss von Trainingszustand und Außentemperatur auf den Sauerstoffverbrauch

Das Training selbst hatte bei der zusammenfassenden Auswertung der Daten beider Arbeiten keinen Einfluss auf den Sauerstoffverbrauch. Lediglich der Sauerstoffverbrauch

nach der trainingsfreien Zeit („untrainiert II“) war mit durchschnittlich $3,2 \pm 0,85$ ml/min/kg (MW \pm StaAbw) hochsignifikant niedriger als vor dem Trainingsstart („untrainiert I“; $p < 0,001$). Warum es bei den zwei Phasen zu solchen Differenzen bei der Sauerstoffaufnahme gekommen ist, kann anhand der vorliegenden Daten nicht sinnvoll erklärt werden. Lediglich eine Überlagerung mit anderen Effektoren wie Stress bzw. Gewöhnung etc. könnte einen systematischen Effekt vermuten lassen.

Bei der gemeinsamen Auswertung beider Studien wurde ein signifikanter Einfluss der Außentemperatur auf den Sauerstoffverbrauch festgestellt ($p < 0,001$). Bei Messungen in Zeiten mit Außentemperaturen im Bereich von $5 - 20^\circ\text{C}$ war der Verbrauch im Mittel $5,03 \pm 0,77$ ml/min/kg (MW \pm StaAbw) geringer als bei solchen von $-10 - 5^\circ\text{C}$. Niedrige Temperaturen im Winter erhöhten den durchschnittlichen Sauerstoffverbrauch was sich durch die vermehrte Thermogenese erklären lässt. Dies stimmt auch mit Erfahrungen in der eigenen Tierhaltung überein, in der sich die Tiere unabhängig von der Jahreszeit viele Stunden in nicht-klimatisierten Außenbereichen aufhalten und mehr Futter in der kalten Jahreszeit benötigen. Auch Finke (1991) zeigte, dass die Umgebungstemperatur einen großen Einfluss auf den Energiebedarf hat (s. o.). Ebenso berichten Zentek und Meyer (1992), dass in Außenzwingern gehaltene Doggen im Winter einen höheren Erhaltungsbedarf aufweisen als im Sommer. Der Grund für einen im Vergleich zum Erhaltungsbedarf gesteigerten Energiebedarf ist ein Unter- oder Überschreiten der thermoneutralen Zone, die für die meisten Hunde zwischen $23 - 25^\circ\text{C}$ liegt (langhaarige Hunde: $15 - 20^\circ\text{C}$, kurzhaarige Hunde: $20 - 25^\circ\text{C}$; NRC, 2006). Liegt die Außentemperatur außerhalb dieses Bereiches, muss zusätzlich Energie für die Thermoregulation aufgebracht werden (Hammel et al., 1958). Daher benötigen Tiere, wenn es kalt ist, mehr Futter um ihr Gewicht zu halten. Kuhn und Hardegg (1988) fanden heraus, dass Foxhounds, die in Außenausläufen von 72 m^2 bei einer Umgebungstemperatur von $7 - 30^\circ\text{C}$ gehalten wurden, 17 % mehr fraßen als Hunde der gleichen Rasse, die in Innenzwingern von 16 m^2 bei einer Umgebungstemperatur von $18 - 22^\circ\text{C}$ gehalten wurden. Hierfür dürfte eine Kombination von Temperatur und Bewegungsraum verantwortlich gewesen sein. Bei Hunden ähneln die Stoffwechselveränderungen infolge eines erhöhten Energiebedarfs aufgrund von Kälte denen nach Ausdauertraining (NRC, 2006).

Betrachtet man die relative Sauerstoffaufnahme der Tiere in Ruhe aus beiden genannten Studien in Relation zur Außentemperatur, wird die oben beschriebene Abhängigkeit

deutlich. Die Steigung der Geraden ist signifikant verschieden von Null ($F = 33,52$; $p < 0,001$). Je niedriger die Außentemperaturen, desto höher war die VO_2 der Hunde (Abbildung 38).

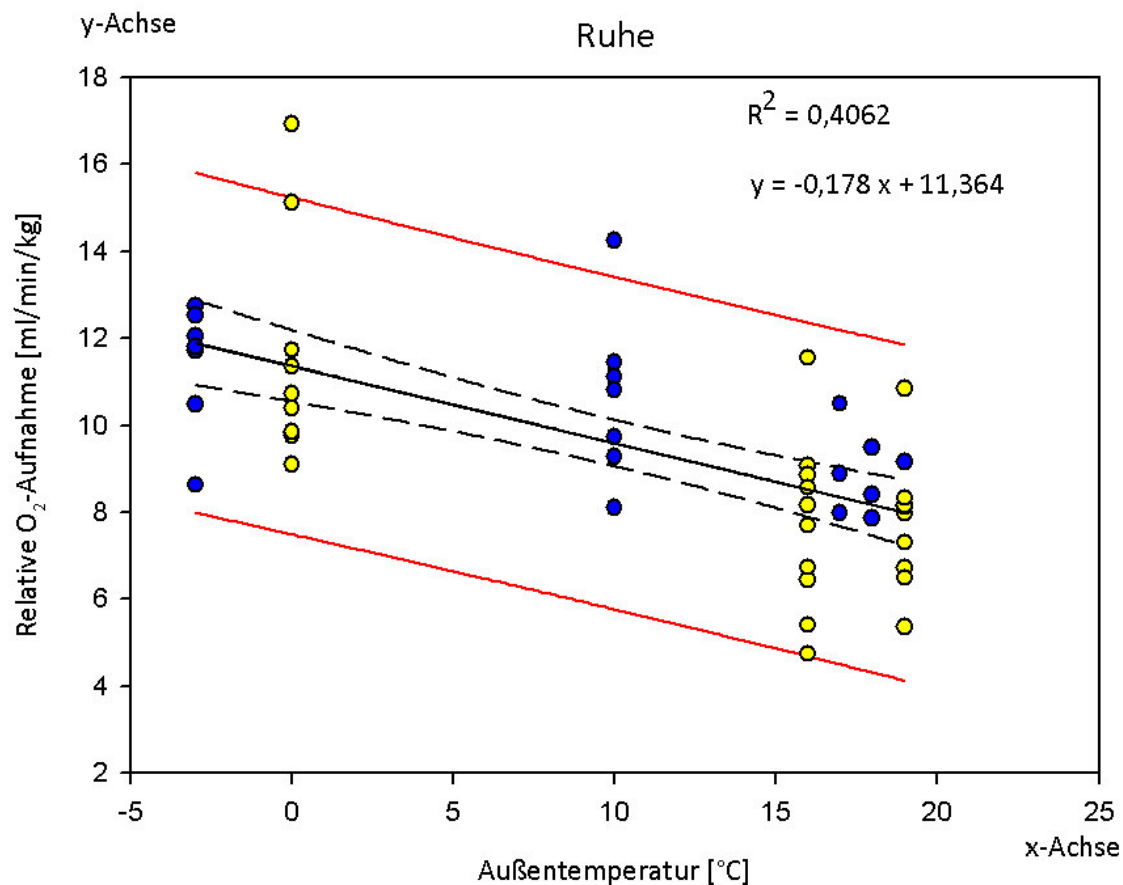


Abbildung 38: Relative Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg) in Abhängigkeit zur Außentemperatur (x; °C) in Ruhe während der Trainingszustände „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“. Für die Grafik wurden sieben Hunde aus der eigenen Studie (•) und zehn Hunde (•) aus der Studie von Zollner (2012) berücksichtigt. Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—).

Wird dagegen die relative Sauerstoffaufnahme besonders bei höherer Laufleistung (12 km/h) betrachtet, verringert sich der Temperatureinfluss im überprüften Temperaturbereich deutlich (Abbildung 39; 12 km/h; die Steigung der Geraden unterscheidet sich signifikant von Null; $F = 10,40$; $p < 0,001$). Grund hierfür dürften die Wärmeverluste bei Umsetzung der Energie in Laufleistung sein, welche einen zusätzlichen Aufwand für Thermogenese bei suboptimalen Temperaturen unnötig machen. Die Körpertemperatur der Hunde steigt, da bei körperlicher Belastung metabolische Wärme durch die Skelettmuskulatur erzeugt

wird (Bjotvedt et al., 1984). Der Einfluss von niedrigen Außentemperaturen auf die VO_2 wird folglich geringer. Selbst in einer sehr kalten Umgebung ist durch Kälte bedingte Thermogenese nur in Zeiträumen relevant, in denen die Hunde nicht trainieren (NRC, 2006).

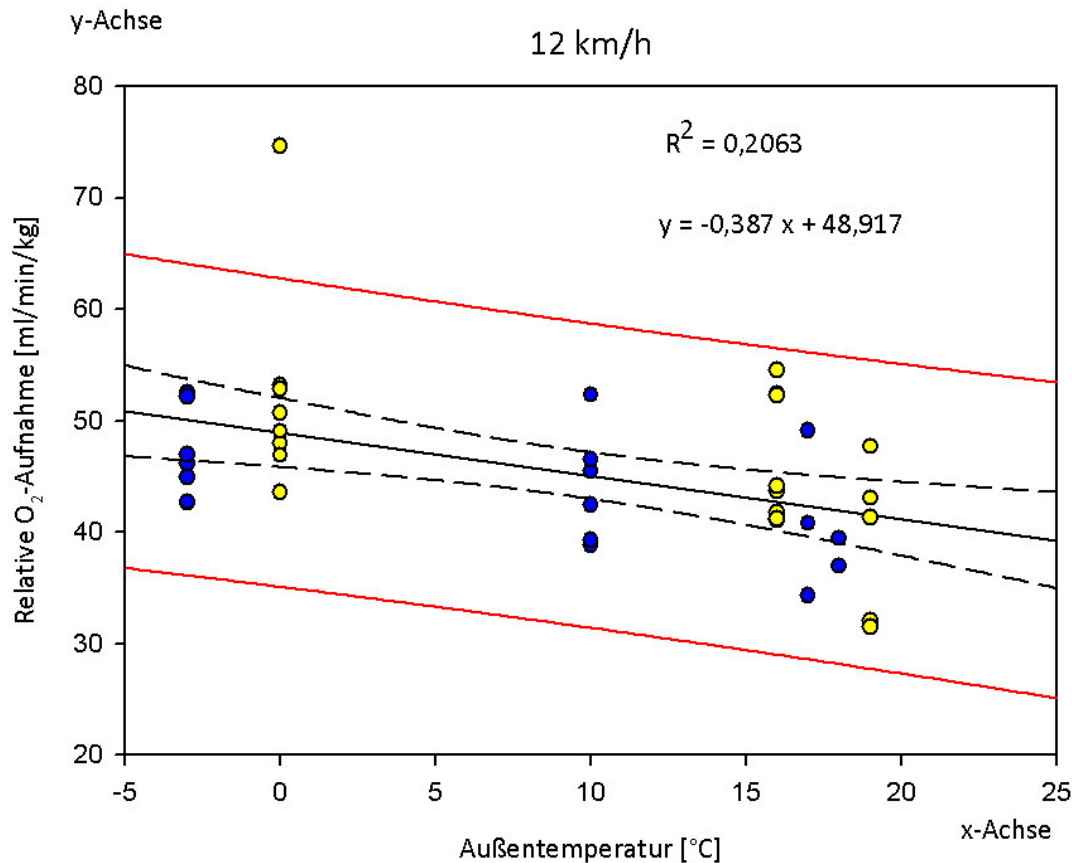


Abbildung 39: Relative Sauerstoffaufnahme (y; ml/min/kg) in Abhängigkeit zur Außentemperatur (x; °C) bei der Laufgeschwindigkeit 12 km/h während der Trainingszustände „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“. Für die Grafik wurden sieben Hunde aus der eigenen Studie (•) und zehn Hunde (•) aus der Studie von Zollner (2012) berücksichtigt. Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—).

Mithilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse wurde untersucht, welcher Temperaturbereich einen Einfluss auf die relative Sauerstoffaufnahme in Ruhe hat. Die Außentemperatur war hier die unabhängige Variable, die in drei Bereiche unterteilt wurde: Gruppe 1: Temperaturen < 5°C; Gruppe 2: Temperaturen von 5 – 12°C; Gruppe 3: Temperaturen > 15°C. Die gleichzeitig erfasste relative VO_2 war die abhängige Variable.

Dabei stellte sich heraus, dass sich die relative VO_2 bei Außentemperaturen von über 15°C statistisch signifikant von den beiden anderen Gruppen unterschied ($p < 0,05$). Die mittlere relative VO_2 war in diesem Temperaturbereich signifikant niedriger als in den tieferen Temperaturbereichen der Gruppen 1 und 2. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass eine Umgebungstemperatur von unter 15°C eine Erhöhung der Sauerstoffaufnahme in Ruhe, sprich einen erhöhten Energiebedarf für die Thermoregulation, zur Folge hatte. Dies stimmt mit Angaben aus der Literatur überein, in der für kurzhaarige Hunderassen eine Thermoneutralzone von etwa $20 - 25^\circ\text{C}$ angegeben wird (NRC, 2006). Faktoren wie Rasse, Alter, Temperament, Haltung, Gesundheitsstatus, Ernährungszustand und Leistungsstadium eines Tieres haben ebenfalls Einfluss auf den Sauerstoffverbrauch und damit Energiebedarf von Hunden (Kienzle und Rainbird, 1991; NRC, 2006) und bedingen individuelle Unterschiede. Bei Metaanalysen muss in Betracht gezogen werden, dass unterschiedliche Faktoren für Varianzen bei den Messdaten verantwortlich sein können, deren jeweiliger Einfluss nicht quantifiziert werden kann.

Insgesamt bleibt jedoch festzuhalten, dass der Einfluss von niedrigen Umgebungstemperaturen auf die VO_2 besonders in Ruhe ausgeprägt ist, da bei niedrigen Temperaturen Thermogenese nötig wird, der Effekt bei körperlicher Aktivität jedoch sukzessive geringer wird, da Wärme durch Muskelaktivität erzeugt wird.

Wie zu erwarten hatte auch bei der gemeinsamen Auswertung beider Arbeiten, neben der Temperatur die Laufgeschwindigkeit einen signifikanten Effekt auf den Sauerstoffverbrauch ($p < 0,001$). Je höher die Laufgeschwindigkeit lag, desto mehr Sauerstoff wurde von den Hunden im Mittel verbraucht. Lag die Laufgeschwindigkeit statt bei 0 km/h (Referenzkategorie) bei $5/ 8/ 12 \text{ km/h}$, so war der Sauerstoffverbrauch der Hunde im Mittel um $20,43 (\pm 0,85)/ 23,45 (\pm 0,86)/ 35,63 (\pm 0,90) \text{ ml/min/kg}$ (MW \pm StaAbw) höher. Dies ist nicht verwunderlich, denn je schneller sich ein Tier fortbewegt, desto größer ist sein Energiebedarf für Lokomotion. Zahlreiche Messungen an verschiedenen Säugetieren ergaben eine stets proportionale Beziehung zwischen der Laufgeschwindigkeit und dem Sauerstoffverbrauch. Der Sauerstoffverbrauch steigt linear mit der Laufgeschwindigkeit an, bis er ein Maximum erreicht ($\text{VO}_{2\text{max}}$; Taylor et al., 1982). Bei Leistung über diesem Niveau (supramaximal) muss der Energiebedarf durch anaerobe Glykolyse gedeckt werden und führt zu einer raschen Anhäufung von Milchsäure (Laktat; NRC, 2006). Auch bei einem Versuch von Cerretelli et al. (1964) mit Hunden, die bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (4 bis 16 km/h) auf einem Laufband trainiert

wurden, konnte ein Anstieg des Sauerstoffverbrauchs mit der Geschwindigkeit beobachtet werden. Die Laufgeschwindigkeit ist ein Maß für die Intensität der Leistung. Für einen Hund definierter Größe besteht also eine direkte Abhängigkeit zwischen der Laufgeschwindigkeit (km/h) und dem Energieverbrauch (Hand et al., 2002).

Einfluss von Trainingszustand und Außentemperatur auf die Herzfrequenz

Die durchschnittliche Herzfrequenz bei einer bestimmten Laufleistung wurde durch den Trainingszustand respektive die Temperaturbedingungen während der Messungen nicht systematisch beeinflusst (siehe Kapitel IX, 4.1).

Andere Studien beschreiben dagegen, dass die Herzfrequenz in Ruhe und unter physischer Belastung vom Trainingszustand des Hundes beeinflusst wird: Ein zwölfwöchiges Training auf einem Laufband mit einer Geschwindigkeit von 6,1 mph (9,8 km/h) bewirkte während der Belastung einen Abfall der Herzfrequenz von 205 bpm auf 158 bpm. Die Untersuchung zeigte einen Abfall der Ruheherzfrequenz von 72 bpm auf 49 bpm (Wyatt und Mitchell, 1974). In der Studie von Mackintosh et al. (1983) wurde ebenso festgestellt, dass die Herzfrequenzen von Beagles, die zwei Minuten nach Belastungsende gemessen wurden nach einem siebenwöchigen Ausdauertraining signifikant niedriger waren als im untrainierten Zustand.

Lediglich die Laufgeschwindigkeit zeigte bei der gemeinsamen Auswertung wie erwartet einen Einfluss auf die Herzfrequenz ($p < 0,001$). Bei steigender Geschwindigkeit (5/ 8 /12 km/h) war auch die Herzfrequenz im Mittel höher (um 57,48 ($\pm 2,55$)/ 62,07 ($\pm 2,58$)/ 83,28 ($\pm 2,70$) bpm; MW \pm StaAbw). Steigende Aktivität in Form von körperlicher Belastung ist bekanntermaßen mit einem Anstieg der Herzfrequenz verbunden (Miyazaki et al., 2002).

Zuletzt muss bedacht werden, dass bei der Interpretation dieser Ergebnisse davon ausgegangen wurde, dass alle anderen Einflussgrößen konstant waren (vergleiche Kapitel V, 1.3).

Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch

Der Energiemehrbedarf durch Leistung kann unter Umständen anhand der Herzfrequenz abgeschätzt werden (siehe Kapitel II, 1.4.1). Dies basiert auf der Tatsache, dass die Herzfrequenz in der Regel mit dem Sauerstoffverbrauch und folglich auch dem Energieverbrauch korreliert (Green, 2011). Mithilfe weiterer Studien mit synchroner

Messung von Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch bei Hunden der gleichen Körpergröße, aber unterschiedlichen Trainingszustandes, sollte die Genauigkeit und Eignung der Methodik verbessert werden. So wurde in der vorliegenden Studie unter standardisierten Bedingungen eine weitere Validierung der Regressionsgleichung mit Überprüfung von Trainingseffekten, wie sie zum Beispiel für den Menschen beschrieben sind (Saunders et al., 2004), durchgeführt. Da weder bei den Studien von Ruoss (2011), Zollner (2012), noch aus der Literatur Nachweise eines unterschiedlichen Trainingszustandes auf diese Korrelation abzuleiten waren, sollten die eigenen Untersuchungen bei deutlich intensiverem Training aber ansonsten möglichst vergleichbaren Bedingungen wie bei Zollner (2012) wiederholt werden.

Durch die gemeinsame Auswertung der Daten der vorliegenden Studie und der von Zollner (2012) sollte auch überprüft werden, ob mithilfe der Herzfrequenz der Wert für den Sauerstoffverbrauch unabhängig vom Trainingszustand oder der Außentemperatur abgeschätzt werden kann. Dies würde die praktische Anwendung der Methodik deutlich vereinfachen.

Es wurden von jeder Studie und von jedem Trainingszustand jeweils die Mittelwerte der Polar-Herzfrequenzen [Schläge/Minute] der relativen Sauerstoffaufnahmen [ml/min/kg] der drei Messdurchgänge in Ruhe und bei Laufarbeit verwendet. Über alle Daten hinweg ergab sich eine durchgehend hohe Korrelation ($R^2 = 0,84$) unabhängig von Temperatur, Laufgeschwindigkeit oder Trainingszustand (Kapitel IX, 4). Teilte man die Daten in zwei Temperaturbereiche ein, so ergab sich eine Korrelation von 0,88 für Temperaturen von -10 bis +5°C und 0,85 für Temperaturen von +5 bis +10°C. Für die Trainingszustände ergaben sich die Korrelationen 0,85 („untrainiert I“), 0,88 („trainiert“) und 0,81 („untrainiert II“). Bei Betrachtung der Einzeltiere lag die Korrelation zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch (ohne Berücksichtigung der Effektoren Temperatur, Laufgeschwindigkeit oder Trainingszustand) im Bereich von 0,80 und 0,94 (bei sechs Hunden > 0,90). Wenn getrennt nach den Effektoren (Trainingszustand bzw. Temperatur) analysiert wurde, lag der Koeffizient in einem ähnlich hohen Bereich; der Fehler änderte sich also nicht maßgeblich.

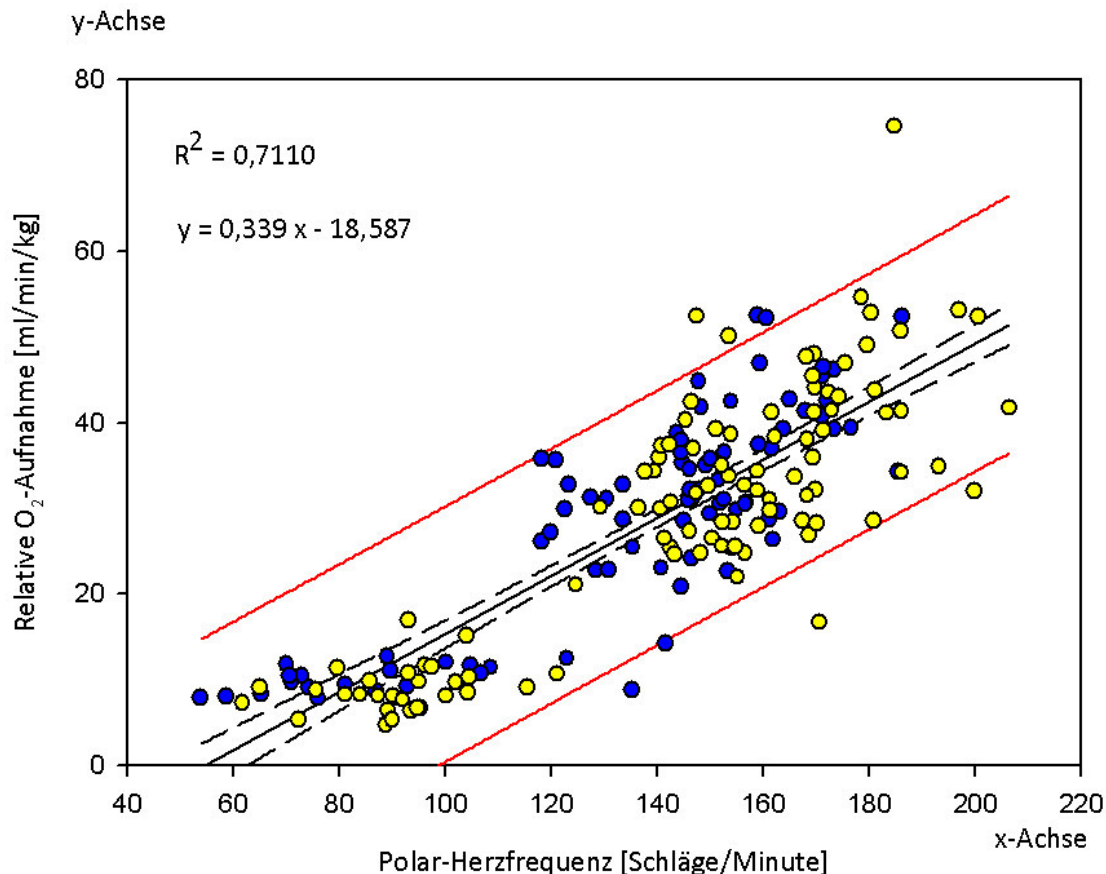


Abbildung 40: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) von insgesamt zehn Hunden aus zwei Studien in den Trainingszuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ aufzeigt. Für die Grafik wurden sieben Hunde aus der eigenen Studie (•) und zehn Hunde (•) aus der Studie von Zollner (2012) berücksichtigt.

Im Allgemeinen ist der Koeffizient zur Bestimmung eines Verhältnisses zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch höher, wenn die Tiere aktiv sind und niedriger, wenn sie inaktiv sind (Mautz und Fair, 1980; Green, 2011). Dies bedeutet, dass die Korrelation in erster Linie für die zusätzliche Leistung von Tieren anwendbar ist. In Ruhe und bei geringer Aktivität ist die Abschätzung des Energieverbrauchs mittels Herzfrequenzmessung ungenau. In der eigenen Analyse wurden allerdings auch die Daten der Hunde in Ruhe verwendet, um einen größeren Datenbereich abzudecken und so die Vorhersagegenauigkeit zu erhöhen. Eine höhere Korrelation wäre bei der ausschließlichen Verwendung von Werten, bei denen die Hunde in Bewegung sind (5, 8 und 12 km/h), zu erwarten. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse lässt sich schlussfolgern, dass das System

der Herzfrequenzmessung zur Abschätzung der VO_2 unabhängig von Trainingslevel und Außentemperatur grundsätzlich funktioniert (Abbildung 40).

Aufgrund allometrischer Effekte im Herzkreislaufsystem wurden die Daten der vorliegenden Arbeit zur Sauerstoffaufnahme und die entsprechenden Daten von Zollner (2012) zum Vergleich auch auf die metabolische Körpermasse bezogen. Eine lineare Regression zwischen Herzschlag (x ; Schläge/ Minute) und Sauerstoffaufnahme pro kg metabolischer Körpermasse (y_2 ; $\text{ml/min/kg}^{0,75}$) wurde zusätzlich berechnet und auf der rechten y -Achse (y_2 -Achse) in Abbildung 41 dargestellt. Somit wird ein Vergleich mit Hunden verschiedener Rassen bzw. unterschiedlicher Größenklassen möglich.

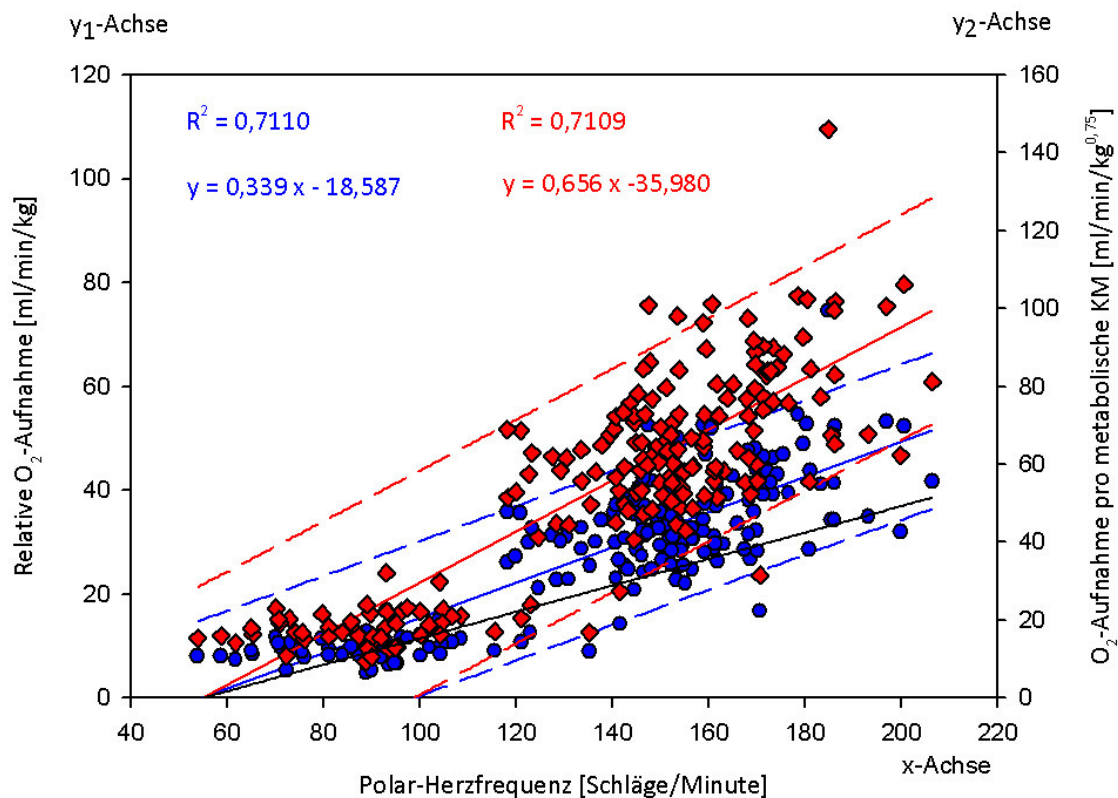


Abbildung 41: Regressionsgerade (—) mit Vorhersageintervallen (--) die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x ; Schläge/Minute) auf die rel. O_2 -Aufnahme (y_1 ; ml/min/kg) von insgesamt zehn Hunden aus zwei Studien in den Trainingszuständen „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ aufzeigt (•). Die y_2 -Achse gibt rel. O_2 -Aufnahmen (y_2 ; $\text{ml/min/kg}^{0,75}$) umgerechnet für die metabolische Körpermasse an (♦). Regressionsgerade (—) mit Vorhersageintervallen (--).

Aufgrund der spärlichen Datenlage wurde eine hohe Streuung festgestellt. Dies wird auch durch die sehr weiten Vorhersageintervalle deutlich. Bei einer gemessenen Herzfrequenz

von 160 Schlägen/Minute ist daher eine relative VO_2 von ca. 20 bis 50 ml/min/kg möglich (Abbildung 40). Die Varianz, also die individuelle Abweichung von der Schätzgröße, ist damit relativ groß. Daher ist derzeit noch keine ausreichend genaue Abschätzung der VO_2 und somit des Energiebedarfs des einzelnen Hundes möglich. Die Nutzung der Methodik ist folglich eingeschränkt, da eine Einzeltiermessung bei der bisherigen Datenlage noch nicht ausreichend exakt ist. Eine Abhängigkeit zwischen den beiden Größen Herzfrequenz und VO_2 besteht, so dass die Herzfrequenzmessung für bestimmte Gruppen von Hunden (großer, mittelgroßer und kleiner Rassen) und festgelegter Leistung im wissenschaftlichen Bereich eine Abschätzung des Energiemehrbedarfs für Leistung erlaubt. Eine Vergrößerung des Datenpools für verschiedene Aktivitäten, Rassen (Größenklassen) etc. wäre wünschenswert, um die Anwendbarkeit der Methode zu verbessern. Wie in der vorliegenden Arbeit festgestellt (vergleiche Kapitel V, 2.3), muss bei der Interpretation der durch den Polargurt gemessenen Herzfrequenz-Werte eine systematische Unterschätzung der Herzfrequenz im Vergleich zum EKG beachtet werden. Aufgrund einer vergleichsweise hohen Streuung der Messwerte durch die Polargurte, sollten, um die Ergebnisse zu verbessern, in Zukunft Herzfrequenzen verwendet werden, die mittels EKG gemessen wurden.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchungen zu Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz bei Laufbandarbeit adulter Hunde in Abhängigkeit vom Trainingszustand

In der vorliegenden Studie wurde die Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz bei Laufbandarbeit bei adulten Hunden im trainierten und untrainierten Zustand bestimmt, um eine Aussage darüber machen zu können, ob die Abschätzung des Energiebedarfs für Arbeit unabhängig vom Trainingszustand mittels Herzfrequenzmessung möglich ist. Daneben wurden weitere Parameter in Abhängigkeit vom Training erhoben, u. a. die sonographische Messung der Muskeldicke z. B. am M. biceps femoris sowie die freie Aktivität gemessen. Einen unerwarteten Effekt hatte die Außentemperatur, der die Hunde bei der freien Aktivität tagsüber ausgesetzt waren, nicht aber während der Untersuchungen auf dem Laufband und der Nachtruhe.

Für die Studie standen zehn adulte gesunde Beaglehündinnen (Alter: 3 – 4 Jahre, Körpermasse [KM]: 12 - 14 kg) zur Verfügung, von welchen sieben Hunde alle Untersuchungen tolerierten, während bei Dreien nur ein Teil durchgeführt wurde (Tabelle 25). Die z. T. an das Handling aus der vorhergegangenen Studie (Zollner, 2012) gewohnten Hunde wurden ohne vorheriges Training einer Messung unterzogen („untrainiert I“), anschließend 16 Wochen trainiert. Danach erfolgte eine weitere Messung („trainiert“). Im Anschluss gab es für zehn Wochen kein Training, und danach eine weitere Messung („untrainiert II“). Ermittelt wurde die Sauerstoffaufnahme mittels Maskentechnik und Gassensoren. Die Herzfrequenz wurde mittels Messelektroden (Polar Wearlink) und mittels EKG gemessen. Die Muskeldicke (Lokalisationen siehe Tabelle 25) wurde sonographisch bestimmt. Zur Messung der freien Aktivität wurden dreiachsige Beschleunigungssensoren (Acticals) am Halsband angebracht.

Die Dicke der Muskulatur an allen vier Messstellen zeigte einen eindeutigen Trainingseffekt, es gab eine signifikante Zunahme in „trainiert“ (Tabelle 25) im Vergleich zu „untrainiert I“ und „untrainiert II“. Bei allen anderen Parametern zeigten sich vor allem Effekte der Außentemperatur, obwohl das Laufband im beheizten Innenbereich untergebracht war (Tabelle 25). Je kälter die Außentemperatur umso höher war der Ruhepuls (gemessen mittels EKG). Die Atemfrequenz bei Belastung war bei höheren Außentemperaturen höher als wenn die Hunde bei kalten Außentemperaturen aus den

Auslaufen in den beheizten Raum zur Messung auf das Laufband gingen. Die freie Aktivität im Auslauf war bei kühlen Temperaturen höher.

Es gab einen engen Zusammenhang zwischen den mittels EKG und Polar-Messgerät gemessenen Herzfrequenzen, allerdings bestand im Bereich der Ruhepulsfrequenz ein systematischer Unterschied mit niedrigeren Frequenzen bei der Polar-Messung. Die Pulsmessung durch Polar-Messgeräte ist daher vor allem bei Belastung aussagekräftig.

Es bestand eine enge positive Korrelation zwischen der Herzfrequenz (x ; Schläge/Minute) und der Sauerstoffaufnahme (y ; ml/kg/min). Messung mittels EKG: $y = 0,32 x - 12,5$ ($R = 0,88$; $p < 0,05$). Messung mittels Polar-Messgerät: $y = 0,33 x - 15,1$ ($R = 0,83$; $p < 0,05$).

Tabelle 25: Untersuchte Parameter der einzelnen Hunde in „untrainiert I“, „trainiert“ und „untrainiert II“ bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen.

Außentemperaturbereich/ Jahreszeit		15 – 23°C/ Sommer	4 – 12°C/ Herbst	-4 – 4°C/ Winter	Gesamtzahl der Hunde
Hunde hatten tagsüber Auslauf im Freien, Laufbandarbeit und Nachtruhe fanden in beheizten Räumen statt					
Parameter [MW ± StaAbw]		Untrainiert I	Trainiert	Untrainiert II	
Mittlere EKG-HF [Schläge/Minute]	In Ruhe	78,0 ± 11,0 ^a	85,4 ± 12,2 ^b	89,2 ± 11,2 ^b	9
Mittlere EKG-HF [Schläge/Minute]	5 km/h	137,7 ± 15,0	142,7 ± 16,3	140,8 ± 12,6	7
	8 km/h	145,4 ± 11,3	146,3 ± 12,2	142,3 ± 11,8	
	12 km/h	166,9 ± 14,0 ^a	166,0 ± 11,4 ^a	159,8 ± 11,2 ^b	
Zwei-Minuten-Minima der relativen VO2 [ml/min/kg]	In Ruhe	9,0 ± 1,4	10,2 ± 2,2	12,5 ± 2,6	9
Zwei-Minuten- Mittelwerte der relativen VO2 [ml/min/kg]	5 km/h	28,5 ± 5,0	28,8 ± 3,3	30,3 ± 3,0	7
	8 km/h	31,0 ± 5,3	32,7 ± 5,1	35,0 ± 3,9	
	12 km/h	40,7 ± 4,8	44,0 ± 6,1	46,8 ± 3,8	
Zwei-Minuten-Minima der Atemfrequenz [l/min]	In Ruhe	14,7 ± 3,8	13,7 ± 2,5	13,0 ± 2,7	9
Zwei-Minuten- Mittelwerte der Atemfrequenz [l/min]	5 km/h	36,6 ± 7,9 ^a	33,8 ± 5,8 ^b	27,8 ± 4,6 ^c	7
	8 km/h	55,2 ± 12,8 ^a	40,2 ± 8,3 ^b	31,1 ± 6,1 ^c	
	12 km/h	94,8 ± 12,5 ^a	67,1 ± 20,2 ^b	45,0 ± 8,4 ^c	
Zwei-Minuten-Minima des Atemminutenvolumens [l/min]	In Ruhe	3,6 ± 1,0	4,1 ± 0,8	4,3 ± 1,2	9
Zwei-Minuten- Mittelwerte des Atemminutenvolumens [l/min]	5 km/h	11,7 ± 1,7 ^a	10,8 ± 1,4 ^{ab}	10,4 ± 1,0 ^b	7
	8 km/h	15,5 ± 3,0 ^a	12,4 ± 1,6 ^{ab}	11,8 ± 1,3 ^b	
	12 km/h	27,2 ± 2,5 ^a	20,7 ± 5,1 ^b	16,9 ± 2,1 ^c	
Muskeldicken [mm]	M. supraspinatus	18,0 ± 0,5 ^a	18,3 ± 0,6 ^b	17,9 ± 0,3 ^a	9
	M. infraspinatus	18,1 ± 0,5 ^a	18,4 ± 0,5 ^b	18,1 ± 0,5 ^a	
	M. biceps femoris	17,9 ± 0,4 ^a	18,2 ± 0,5 ^b	17,9 ± 0,4 ^a	
	M. longissimus dorsi	14,2 ± 0,2 ^a	14,4 ± 0,2 ^b	14,2 ± 0,2 ^{ab}	
Freie Aktivität [Activity counts/Stunde]		52020 ± 16274	64679 ± 11528	63933 ± 24008	10

Mittelwerte einer Reihe, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant (einfaktorielle Varianzanalyse, post-hoc-Tests abhängig von Datenverteilung Holm-Sidak, Mann-Whitney oder Tukey-Test; $p < 0,05$).

VII. SUMMARY

Studies on oxygen consumption and heart rate in adult dogs passing a treadmill exercise program as a function of the level of fitness

In the present study oxygen consumption and heart rate of adult dogs during treadmill workout were determined for trained and untrained conditions of the dogs. It was about to be investigated, whether the estimation of the energy requirement of work is possible by means of heart rate measurement regardless of the exercise state. In addition, further parameters were analyzed depending on the training: The thickness of selected muscles for locomotion, for example M. biceps femoris, was sonographically measured. Using activity measuring instruments, the free activity was recorded. An unexpected effect was the ambient temperature. The dogs were exposed to it during free activity during the day, but not during the tests on the treadmill and the night rest.

Ten adult healthy female beagle dogs were available for the study (age: 3 – 4 years; body mass: 12 - 14 kg). Seven dogs accepted all investigations, three completed only part of the investigations (Table 26). The dogs, partly used to the measurements and the treadmill because taking part in the previous study (Zollner, 2012) were subjected to a measurement without prior training (“untrained I”). Then they were trained for 16 weeks. A further measurement was then carried out (“trained”). Afterwards, there was no training for ten weeks, followed by another measurement (“untrained II”). The oxygen uptake was determined using mask technology and gas sensors. The heart rate of the dogs was measured using measuring electrodes (Polar Wearlink) and ECG. Also the thickness of selected muscles (localizations see table 26) was measured sonographically. Three-axis accelerators (acticals) were attached to the collar to measure free activity.

A training effect could be observed for all tested muscles in the form of a significant increase in size in “trained” (table 26) compared to “untrained I” and “untrained II”. Although the treadmill was located indoor (table 26), effects of the ambient temperature were found for all other parameters. The colder the ambient temperature, the higher the resting pulse (measured by ECG). Respiratory rate at load was higher at high ambient temperatures compared to when the dogs had to run for a measurement on the treadmill

coming from the outlets into the heated room at cool ambient temperatures. The free activity in the outlet was higher at cool temperatures.

There was a close relationship between the heart rate measured by ECG and by Polar-measurement device. However, there was a systematic difference of the resting pulse frequency in the range of lower frequencies with the polar measurement. Therefore, pulse measurement by Polar-measurement devices is especially meaningful under load.

There was a close positive correlation between heart rate (x; beats per minute) and oxygen uptake (y; ml/min/kg). Measurement using ECG: $y = 0.32 x - 12.5$ ($R = 0.88$; $p < 0.05$). Measurement using Polar-measurement device: $y = 0.33 x - 15.1$ ($R = 0.83$; $p < 0.05$).

Table 26: Parameters of the individual dogs under the conditions „untrained I“, „trained“ and „untrained II“ at different ambient temperatures.

Ambient temperature range/ Season		15 – 23°C/ Summer	4 – 12°C/ Autumn	-4 – 4°C/ Winter	Total number of dogs
Dogs were out in the open during the day, treadmill work and night rest took place in heated rooms					
Parameters [Mean ± StaDev]		Untrained I	Trained	Untrained II	
Mean ECG-HR [Beats per minute]	In rest	78,0 ± 11,0 ^a	85,4 ± 12,2 ^b	89,2 ± 11,2 ^b	9
Mean ECG-HR [Beats per minute]	5 km/h	137,7 ± 15,0	142,7 ± 16,3	140,8 ± 12,6	7
	8 km/h	145,4 ± 11,3	146,3 ± 12,2	142,3 ± 11,8	
	12 km/h	166,9 ± 14,0 ^a	166,0 ± 11,4 ^a	159,8 ± 11,2 ^b	
Two-minutes-minima of relative VO2 [ml/min/kg]	In rest	9,0 ± 1,4	10,2 ± 2,2	12,5 ± 2,6	9
Two-minutes-means of relative VO2 [ml/min/kg]	5 km/h	28,5 ± 5,0	28,8 ± 3,3	30,3 ± 3,0	7
	8 km/h	31,0 ± 5,3	32,7 ± 5,1	35,0 ± 3,9	
	12 km/h	40,7 ± 4,8	44,0 ± 6,1	46,8 ± 3,8	
Two-minutes-minima of respiratory rate [l/min]	In rest	14,7 ± 3,8	13,7 ± 2,5	13,0 ± 2,7	9
Two-minutes-means of respiratory rate [l/min]	5 km/h	36,6 ± 7,9 ^a	33,8 ± 5,8 ^b	27,8 ± 4,6 ^c	7
	8 km/h	55,2 ± 12,8 ^a	40,2 ± 8,3 ^b	31,1 ± 6,1 ^c	
	12 km/h	94,8 ± 12,5 ^a	67,1 ± 20,2 ^b	45,0 ± 8,4 ^c	
Two-minutes-minima of minute ventilation [l/min]	In rest	3,6 ± 1,0	4,1 ± 0,8	4,3 ± 1,2	9
Two-minutes-means of minute ventilation [l/min]	5 km/h	11,7 ± 1,7 ^a	10,8 ± 1,4 ^{ab}	10,4 ± 1,0 ^b	7
	8 km/h	15,5 ± 3,0 ^a	12,4 ± 1,6 ^{ab}	11,8 ± 1,3 ^b	
	12 km/h	27,2 ± 2,5 ^a	20,7 ± 5,1 ^b	16,9 ± 2,1 ^c	
Thickness of selected muscles [mm]	M. supraspinatus	18,0 ± 0,5 ^a	18,3 ± 0,6 ^b	17,9 ± 0,3 ^a	9
	M. infraspinatus	18,1 ± 0,5 ^a	18,4 ± 0,5 ^b	18,1 ± 0,5 ^a	
	M. biceps femoris	17,9 ± 0,4 ^a	18,2 ± 0,5 ^b	17,9 ± 0,4 ^a	
	M. longissimus dorsi	14,2 ± 0,2 ^a	14,4 ± 0,2 ^b	14,2 ± 0,2 ^{ab}	
Free Activity [Activity counts/hour]		52020 ± 16274	64679 ± 11528	63933 ± 24008	10

Letters in a row identify differences between more than two groups; means not sharing a superscript letter are significantly different (one-way analysis of variance, post-hoc-tests dependant of data distribution Holm-Sidak, Mann-Whitney or Tukey-Test; p<0,05).

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

Ahlstrom O., Redman P. und Speakman J. 2010. Energy expenditure and water turnover in hunting dogs in winter conditions.

Andersen P. und Henriksson J. 1977. Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *Journal of Physiology* 270: 677-690.

Arokoski J., Miettinen P., Säämänen A.-M., Haapanen K., Parviainen M., Tammi M. und Helminen H. 1993. Effects of aerobic long distance running training (up to 40 km•day⁻¹) of 1-year duration on blood and endocrine parameters of female beagle dogs. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 67 (4): 321-329.

Bahr R. und Sejersted O.M. 1991. Effect of intensity of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Metabolism* 40: 836-841.

Baker E.J. und Gleeson T.T. 1998. EPOC and the energetics of brief locomotor activity in *Mus domesticus*. *Journal of Experimental Zoology* 280: 114-120.

Baker E.J. und Gleeson T.T. 1999. The effects of intensity on the energetics of brief locomotor activity. *Journal of Experimental Biology* 202: 3081-3087.

Ballevre O., Anantharaman-Barr G., Gicquello P., Piguet-Welsh C., Thielin A.-L. und Fern E. 1994. Use of the doubly-labeled water method to assess energy expenditure in free living cats and dogs. *Journal of Nutrition* 124: 2594-2600.

Ballor D.L. 1991. Exercise training elevates RMR during moderate but not severe dietary restriction in obese male rats. *Journal of Applied Physiology* 70: 2303-2310.

Bangsbo J., Gollnick P.D., Graham T.E., Juel C., Kiens B., Mizuno M., Saltin B. 1990. Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *Journal of Physiology* 422: 539-559.

Barger A.C., Richards V., Metcalfe J. und Günther B. 1956. Regulation of the circulation during exercise: Cardiac output (Direct Fick) and metabolic adjustments in the normal dog. *American Journal of Physiology* 184 (3): 613-623.

Barnard R.J., Corre K. und Cho H. 1976. Effect of training on the resting heart rate of rats. *European Journal of Applied Physiology* 35: 285-289.

Beerda B., Schilder M.B.H., van Hoof J., de Vries H.W. und Mol J.A. 1998. Behavioural, saliva cortisol and heart rate responses to different types of stimuli in dogs. *Applied Animal Behavior Science* 58: 365-381.

Behrends J., Bischofberger J. und Deutzmann R. 2012. *Duale Reihe Physiologie*. 2. Aktualisierte Ausgabe: 155.

Bennett A.F. 1985. Energetics and Locomotion. In: Hildebrand J., Bramble D., Liem K., Wake D. (Eds.), *Functional Vertebrate Morphology*. Harvard University Press, Cambridge: 173-178.

Berhan T., Puchala R., Goetsch A.L. und Merkel R.C. 2006. Effects of walking speed and forage consumption on energy expenditure and heart rate by alpine does. *Small Ruminant Research* 63: 119-124.

Bevan R.M., Woakes A.J., Butler P.J. und Croxall J.P. 1995. Heart rate and oxygen consumption of exercising gentoo penguins. *Physiological Zoology* 68: 855-877.

Beyreuther S. 2007. Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch bei Haushunden als Maß für den Aktivitätsstoffwechsel. *Dissertationsarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Department Biologie II*.

Bjotvedt G., Weems C.W. und Foley K. 1984. Strenuous exercise may cause health hazards for racing Greyhounds. *Veterinary Medicine: Small Animal Clinician* 79: 1481-1487.

Black A.E., Coward W.A., Cole T.J. und Prentice A.M. 1996. Human energy expenditure in affluent societies: An analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *European Journal of Clinical Nutrition* 50: 72-92.

Blaxter K. 1989. *Energy metabolism in animals and man*. Cambridge University Press: New York. XIII + 336P.

Blix A.S., Stromme S.B. und Ursin H. 1974. Additional heart rate - an indicator of psychological activation. *Aerospace Medical Association* 45: 1219-1222.

Blomqvist C.G. und Saltin B. 1983. Cardiovascular adaptations to physical training. *Annual Review of Physiology* 45: 169-189.

Boonyarom O. und Inui K. 2006. Atrophy and hypertrophy of skeletal muscles: structural and functional aspects. *Acta Physiologica* 188: 77-89.

Booth F.W. und Thomason D.B. 1991. Molecular and cellular adaptation of muscle in response to exercise: Perspectives of various models. *Physiological Reviews* 71 (2): 541-585.

Bouten C.V.C., Sauren A.A.H.J., Verduin M. und Janssen J.D. 1997. Effects of placement and orientation of body-fixed accelerometers on the assessment of energy expenditure during walking. *Medical & Biological Engineering & Computing* 35: 50-56.

Bove A.A., Hultgren P.B., Ritzer T.F. und Carey R.A. 1979. Myocardial blood flow and hemodynamic responses to exercise training in dogs. *Journal of Applied Physiology* 46: 571-578.

Broeder C.E., Burrhus K.A., Svanevik L.S. und Wilmore J.H. 1992. The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *American Journal of Clinical Nutrition* 55: 802-810.

Brown D., Michel K.E., Love M. und Dow C. 2010. Evaluation of the effect of signalment and body conformation on activity monitoring in companion dogs. *American Journal of Veterinary Research* 71: 322-325.

Brown J.H., Gillooly J.F., Allen A.P., Savage V.M. und West G.B. 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85: 1771-1789.

Burger I.H. 1994. Energy needs of companion animals: Matching food intakes to requirements throughout the life circle. *Journal of Nutrition* 124: 2584-2593.

Burger I.H. und Johnson J.V. 1991. Dogs large and small: The allometry of energy requirements within a single species. *The Journal of Nutrition* 121: 18-21.

Butler P.J., Green J.A., Boyd I.L. und Speakman J.R. 2004. Measuring metabolic rate in the field: the pros and cons of the doubly-labelled water and heart rate methods. *Functional Ecology* 18: 168-183.

Butler P.J., Woakes A.J., Bevan R.M. und Stephenson R. 2000. Heart rate and rate of oxygen consumption during flight of the barnacle goose. *Branta leucopsis*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 126A: 379-385.

Butler P.J., Woakes A.J., Boyd I.L. und Kanatous S. 1992. Relationship between heart rate and oxygen consumption during steady-state swimming in California sea lions. *Journal of Experimental Biology* 170: 35-42.

Butler P.J., Woakes A.J., Smale K., Roberts C.A., Hillidge C.J., Snow D.H. und Marlin D.J. 1993. Respiratory and cardiovascular adjustments during exercise of increasing intensity and during recovery in thoroughbred racehorses. *Journal of Experimental Biology* 179: 159-180.

Butte N.F., Ekelund U. und Westerterp K.R. 2012. Assessing physical activity using wearable monitors: measures of physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 44 (1S): 5-12.

Butterwick R.F. und Hawthorne A.J. 1998. Advances in dietary management of obesity in dogs and cats. *Journal of Nutrition* 128: 2771-2775.

Cabric M. und James N.T. 1983. Morphometric analyses on the muscles of exercise trained and untrained dogs. *The American Journal of Anatomy* 166: 359-368.

Careau V., Morand-Ferron J. und Thomas D. 2007. Basal metabolic rate of Canidae from hot deserts to cold arctic climates. *Journal of Mammology* 88 (2): 394-400.

Careau V., Thomas D., Humphries M.M. und Réale D. 2008. Energy metabolism and animal personality. The Authors. *Journal compilation. Oikos* 117: 641-653.

Caspersen C.J., Powell K.E. und Christenson G.M. 1985. Physical activity, exercise, and physical fitness: Definitions and distinctions for health-related research. *Public health reports* 100 (2): 126-131.

Cerretelli P., Piiper J., Mangili F. und Ricci B. 1964. Aerobic and anaerobic metabolism in exercising dogs. *Journal of Applied Physiology* 19: 25-28.

Christensen C., Frey H., Foenstelien E., Aadland E. und Refsum H. 1983. A critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O₂ consumption/ heart rate curves and average daily heart rate. *The American Journal of Clinical Nutrition* 37: 468-472.

Clark T.D., Butler P.J. und Frappell P.B. 2006. Factors influencing the prediction of metabolic rate in a reptile. *Functional Ecology* 20: 105-113.

Clausen J.P. 1977. Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiological Reviews* 57 (4): 779-815.

Coenen M. 2010. Remarks on the benefits of heart rate recordings. *Proc. Kentucky Equine Research Nutrition Conference* 17: 42-54.

-
- Connor M., Labato M.A. und Laflamme D.P. 2000. Variation in maintenance energy requirements of pet dogs. Pages 84. Purina Nutrition Forum Proceedings Supplement to Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian.
- Corby R.M., Heilbronn L.K., de Jonge L., DeLany J.P., Volaufova J., Anton S.D., Redman L.M., Smith S.R. und Ravussin E. 2007. Effect of calorie restriction on resting metabolic rate and spontaneous physical activity. *Obesity* 15 (12): 2964-2973.
- Costill D.L., Flink W.J., Hargreaves M., King D.S., Thomas R. und Fielding R. 1985. Metabolic characteristics of skeletal muscle during detraining from competitive swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 17 (3): 339-343.
- Coyle EF, Martin III W.H., Sinacore D.R., Joyner M.J., Hagberg J.M. und Holloszy J.O. 1984. Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *Journal of Applied Physiology* 57: 1857-1864.
- Davenport G.M., Kelley R.L., Altom E.K. und Lepine A.J. 2001. Effect of diet on hunting performance of English pointers. *Vet. Therapeutics* 2: 10-23.
- Decombaz J., Jambon M., Piguet C., Thelin A. und Ballevre O. 1995. Energy intake and expenditure of sled dogs during the Alpirod race 1995. Pages 113-118 in Grandjean D., Vanek J., eds. the Second Annual Sled Dog Veterinary Medical Association Symposium. Reims, France: Reims Champagne Congress.
- Diesel D.A., Tucker A. und Robertshaw D. 1990. Cold-induced changes in breathing pattern as a strategy to reduce respiratory heat loss. *Journal of Applied Physiology* 69: 1946-1952.
- Dohm M.R., Hayes J.P. und Garland P. 2001. The quantitative genetics of maximal and basal rates of oxygen consumption in mice. *Genetics* 159: 267-277.
- Donald D.D. und Ferguson D. 1966. Response of heart rate, oxygen consumption, and arterial blood pressure to graded exercise in dogs. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 121: 626-630.

Dow C., Michel K.E., Love M. und Brown D.C. 2009. Evaluation of optimal sampling interval for activity monitoring in companion dogs. *American Journal of Veterinary Research* 70: 444-448.

Downs L.G., Crispin S.M., Legrande-Defretin V., Perez-Camargo G., McCappin T., Bolton C.H. The influence of lifestyle and diet on the lipoprotein profile of Border Collies. *Research in Veterinary Science* 63: 35-42.

Downs L.G., Crispin S.M., Legrande-Defretin V., Perez-Camargo G., McCappin T., Bolton C.H. The effect of dietary changes on plasma lipids and lipoproteins of six Labrador Retrievers. *Research in Veterinary Science* 63: 175-181.

Eckenfels A. und Trieb G. 1979. The normal electrocardiogram of the conscious Beagle dog. *Toxicology and Applied Pharmacology* 47: 567-584.

Eckert R., Randall D., Burggren W. und French K. 2002. *Tierphysiologie*. 4. Auflage.

Eizadi M., Dooaly H., Seyedhoseini M.A. und Khorshidi D. 2011. Maximal oxygen consumption percentage in relation to maximal heart rate percentage during cycling in obese males. *European Journal of Experimental Biology* 1 (4): 206-209.

Eston R.G., Rowlands A.V. und Ingledew D.K. 1998. Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *Journal of Applied Physiology* 84: 362-371.

Evans D.L. und Rose R.J. 1988. Cardiovascular and respiratory responses to submaximal exercise training in the thoroughbred horse. *Pflügers Arch* 411: 316-321.

Ferrannini E. 1988. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism* 37 (3): 287-301.

Fick A. 1870. Über die Messung des Blutquantums in den Herzventrikeln. *Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft* 2: 16.

Finke M.D. 1991. Evaluation of the energy requirements of adult kennel dogs. *Journal of Nutrition* 121: 22-28.

Finke M.D. 1994. Energy Requirements of Adult Female Beagles. *Journal of Nutrition* 124: 2604-2608.

Flandrois R., Lacour J.R. und Osman H. 1971. Control of breathing in the exercising dog. *Respiration Physiology* 13 (3): 361-371.

Flück M. und Hoppeler H. 2003. Molecular basis of skeletal muscle plasticity- from gene to form and function. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology* 146, Springer Berlin Heidelberg: 159-216.

Flynn R.K. und Gessaman J.A. 1979. An evaluation of heart rate as a measure of daily metabolism in pigeons (*Columba livia*). *Comp. Biochem. Physiol. A* 63: 511-514.

Frankel T.L. und Bell C.J. 1994. The practicalities of measurement and interpretation of field metabolic rate in dogs. *Journal of Nutrition* 124: 2614-2615.

Froget G., Butler P.J., Handrich Y. und Woakes A.J. 2001. Heart rate as an indicator of oxygen consumption: influence of body condition in the king penguin. *Journal of Experimental Biology* 204: 2133-2144.

Gaebelein C.J., Galosy R.A., Botticelli L., Howard J.L. und Obrist P.A. 1977. Blood pressure and cardiac changes during signalled and unsignalled avoidance in dogs. *Physiology & Behavior* 19: 69-74.

Gaesser G.A. und Brooks G.A. 1984. Metabolic bases of excess postexercise oxygen consumption: A review. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 16: 29-43.

Galosy R.A., Clarke L.K. und Mitchell J.H. 1979. Cardiac changes during behavioral stress in dogs. *American Journal of Physiology- Heart and Circulatory Physiology* 236 (5): 750-758.

Garland T. Jr. 1983. Scaling the ecological cost of transport to body mass in terrestrial mammals. *The American Naturalist* 121 (4): 571-587.

Gemmill C., Booth W. und Pocock B. 1930. Muscular training: Physiological effect of daily repetition of the same amount of light muscular work. *American Journal of Physiology* 92: 253-270.

Gerth N., Redman P., Speakman J.R., Jackson S. und Starck J.M. 2009b. Energy metabolism of Inuit sled dogs. *Journal of Comparative Physiology B* 180: 577-589.

Gerth N., Ruoss C., Dobenecker B., Reese S. und Starck J.M. 2015b. Using heart rate to predict energy expenditure in large domestic dogs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* (Berl.), doi: 10.1111/jpn. 12391 [Epub ahead of print].

Gerth N., Ruoss C., Jakob K., Dobenecker B., Reese S. und Starck J.M. 2015a. Effects of an aerobic training and training cessation on skeletal muscle ultrastructure in domestic dogs. *Journal of Morphological Science* 32 (3): 192-199.

Gerth N., Sum S., Jackson S. und Starck J.M. 2009a. Muscle plasticity of Inuit sled dogs in Greenland. *Journal of Experimental Biology* 212: 1131-1139.

Gleeson M., Brown J.F. und Waring J.J. 1982. The effects of physical exercise on metabolic rate and dietary-induced thermogenesis. *British Journal of Nutrition* 47: 173-181.

Gleeson T.T., Mullin W.J. und Baldwin K.M. 1983. Cardiovascular responses to treadmill exercise in rats: effects of training. *Journal of Applied Physiology* 54: 789-793.

Green J.A. 2011. The heart rate method for estimating metabolic rate: Review and recommendations. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 158: 287-304.

Green J.A., Butler P.J., Woakes A.J. und Boyd I.L. 2002. Energy requirements of female macaroni penguins breeding at South Georgia. *Functional Ecology* 16: 671-681.

Green J.A., Butler P.J., Woakes A.J., Boyd I.L. und Holder R.L. 2001. Heart rate and rate of oxygen consumption of exercising macaroni penguins. *Journal of Experimental Biology* 204: 673-684.

Green J.A., Halsey L.G., Wilson R.P. und Frappell P.B. 2009. Estimating energy expenditure of animals using the accelerometry technique: activity, inactivity and comparison with the heart-rate technique. *Journal of Experimental Biology* 212: 471-482.

Gunn H.M. 1978a. Differences in the histochemical properties of skeletal muscles of different breeds of horses and dogs. *Journal of Anatomy* 127: 615-634.

Gunn H.M. 1989. Heart weight and running ability. *Journal of Anatomy* 167: 225-233.

Halsey L.G., Green A.J., Wilson R. und Frappell P.B. 2009. Accelerometry to estimate energy expenditure during activity: best practice with data loggers. *Physiological and Biochemical Zoology* 82: 396-404.

Hammel H.T., Wyndham C.H. und Hardy J.D. 1958. Heat production and heat loss in the dog at 8 - 36°C environmental temperature. *American Journal of Physiology* 194 (1): 99-108.

Hammond K.A. und Diamond J. 1997. Maximal sustained energy budgets in humans and animals. *Nature* 386: 457-462.

Hancock T.V., Adolph S.C. und Gleeson T.T. 2001. Effect of activity duration on recovery and metabolic costs in the desert iguana (*Dipsosaurus dorsalis*). *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology* 130 (1): 67-79.

Hand M., Thatcher C., Remillard R. und Roudebush P. 2002. *Klinische Diätetik für Kleintiere, Band I*. Mark Morris Institute, Topeka, Kansas.

Hansen B.D., Lascelles B.D. und Keene B.W. 2007. Evaluation of an accelerometer for at-home monitoring of spontaneous activity in dogs. *American Journal of Veterinary Research* 68: 468-475.

Hanton G. und Rabemampianina Y. 2006. The electrocardiogram of the Beagle dog: reference values and effect of sex, genetic strain, body position and heart rate. *Laboratory Animals* 40: 123-136.

Hedhammer A. 1996. Nutrition related orthopaedic diseases. In: Kelly N. und Wills J.: *BSAVA Manual of companion animal nutrition and feeding*. Iowa State University Press, Ames: 198-206.

Herxheimer H. 1924. Physiology of physical training. *Zeitschrift für Klinische Medizin* 98: 484-523.

Hill J.O., Davis J.R., Tagliaferro A.R. und Stewart J. 1984. Dietary obesity and exercise in young rats. *Physiology & Behavior* 33: 321-328.

Hill R.C. 1998. The nutritional requirements of exercising dogs. *Journal of Nutrition* 128: 2686-2690.

Hill R.C. 2006. Challenges in measuring energy expenditure in companion animals: A clinician's perspective. *Journal of Nutrition* 136: 1967 – 1972.

Hill R.C., Bloomberg M.S., Legrand-Defretin V., Burger I.H., Hillock S.M., Sundstrom D.A. und Jones G.L. 2000. Maintenance energy requirements and the effect of diet on performance of racing Greyhounds. *American Journal of Veterinary Research* 61: 1566-1573.

Hill R.C., Lewis D.D., Scott K.C., Omori M., Jackson M., Sundstrom D.A., Jones G.L., Speakman J.R., Doyle C.A., Butterwick R.F. 2001. Effect of increased dietary protein and decreased dietary carbohydrate on performance and body composition in racing Greyhounds. *American Journal of Veterinary Research* 62: 440-447.

Hill R.C., Lewis D.D., Scott K.C., Randell S.C., Sundstrom D.B., Speakman J.E. und Butterwick R.F. 1999. Mild food restriction increases the speed of racing Greyhounds. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 13: 281.

Hinchcliff K.W., Reinhart G.A., Burr J.R., Schreier C.J. und Swenson R.A. 1997. Metabolizable energy intake and sustained energy expenditure of Alaskan sled dogs during heavy exertion in the cold. *American Journal of Veterinary Research* 58: 1457-1462.

Holter J.B., Urban W.E., Hayes H.H. und Silver H. 1976. Predicting metabolic rate from telemetered heart rate in white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 40: 626-629.

Hoppeler H. und Flück M. 2002. Normal mammalian skeletal muscle and its phenotypic plasticity. *Journal of Experimental Biology* 205: 2143-2152.

Hoppeler H., Howald H., Conley K., Lindstedt S.L., Claassen H., Vock P. und Weibel E.R. 1985. Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* 59 (2): 320-327.

Hubrecht R. 1993. A comparison of social and environmental enrichment methods for laboratory housed dogs. *Applied Animal Behaviour Science* 37: 345-361.

Huggins S.E., Valentinuzzi M.E. und Hoff H.E. 1971. Relationship of oxygen consumption to heart rate and respiratory parameters in *Caiman sclerops*. *Physiological Zoology* 44: 98-111.

Hulbert A.J. und Else P.L. 2004. Basal metabolic rate: History, composition, regulation and usefulness. *Physiological and Biochemical Zoology* 77 (6): 869-876.

Huppelsberg J. und Walter K. 2013. *Endspurt Vorklinik: Physiologie 2: Die Skripten fürs Physikum*. Georg Thieme Verlag KG.

Kaplinsky E., Hood W.B. Jr., McCarthy B., McCombs H.L. und Lown B. 1968. Effects of physical training in dogs with coronary artery ligation. *Circulation* 37: 556-565.

Kayar S., Hoppeler H., Lindstedt S., Claassen H., Jones J., Essen-Gustavsson B. und Taylor C. 1989. Total muscle mitochondrial volume in relation to aerobic capacity of horses and steers. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology* 413: 343-347.

Keytel L.R., Goedecke J.H., Noakes T.D., Hiiloskorpi H., Laukkanen R., van der Merwe L. und Lambert E.V. 2005. Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *Journal of Sports Sciences* 3: 289-297.

Kienzle E. und Rainbird A. 1991. Maintenance energy requirement of dogs: What is the correct value for the calculation of metabolic body weight in dogs. *Journal of Nutrition* 121: 39-40.

Kienzle E. und Schramme S. 2004. Beurteilung des Ernährungszustandes mittels Body Condition Scores und Gewichtsschätzung beim adulten Warmblutpferd. *Pferdeheilkunde* 20: 517-524.

King A.M., Loiselle D.S. und Kohl P. 2004. Force generation for locomotion of vertebrates: skeletal muscle overview. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 29: 684-691.

Klausen K., Andersen L.B. und Pelle I. 1981. Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica* 113: 9-16.

Knazovicky D., Tomas A, Motsinger-Reif A. und Lascelles B.D. 2015. Initial evaluation of nighttime restlessness in a naturally occurring canine model of osteoarthritis pain. *PeerJ* 3: 772.

Kohlsrauch W. 1929. Zur Kenntnis des Trainingszustandes. *Arbeitsphysiologie; internationale Zeitschrift für Physiologie* 2: 46-50.

Korhonen H., Harri M. und Hohtola E. 1985. Response to cold in the blue fox and raccoon dog as evaluated by metabolism, heart rate and muscular shivering: a re-evaluation. *Comparative Biochemistry and Physiology* 82 A (4): 959-964.

Kraemer W.J., Patton J.F., Gordon S.E., Harman E.A., Deschenes M.R., Reynolds K., Newton R.U., Triplett N.T. und Dziados J.E. 1995. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology* 78: 976-989.

Kraemer W.J. und Spiering B.A. 2006. Skeletal muscle physiology: Plasticity and Responses to Exercise. *Hormone Research* 66 (1): 2-16.

Kronfeld D.S., Ferrante P.L. und Grandjean D. 1994. Optimal nutrition for athletic performance, with emphasis on fat adaptation in dogs and horses. *Journal of Nutrition* 124: 2745-2753.

Kronfeld D.S., Hammel E., Ramberg C. und Dunlap H. 1977. Hematological and metabolic responses to training in racing sled dogs fed diets containing medium, low, or zero carbohydrate. *The American Journal of Clinical Nutrition* 30: 419-430.

Kuhn G. und Hardegg W. 1988. Effects of indoor and outdoor maintenance of dogs upon food intake, body weight, and different blood parameters. *Zeitschrift für Versuchstierkunde* 31: 205-214.

Laflamme D. 1997. Development and validation of a body condition score system for dogs. *Canine Practice* 22 (4): 10-15.

Larsson C., Junghans P. und Tauson A.-H. 2010. The ¹³C-bicarbonate tracer (¹³C-BT) technique for estimation of CO₂ production and energy expenditure in dogs during rest and physical activity.

Laughlin M. H., Diana J.N. und Tipton C.M. 1978. Effects of exercise training on coronary reactive hyperemia and blood flow in the dog. *Journal of Applied Physiology* 45: 604-610.

Levine J.A. 2005. Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutrition* 8 (7a): 1123-1132.

Luke A., Maki K. C., Barkey N., Cooper R. und McGee D. 1997. Simultaneous monitoring of heart rate and motion to assess energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29: 144-148.

Lovegrove B.G. 2003. The influence of climate on the basal metabolic rate of small mammals: a slow-fast metabolic continuum. *Journal of Comparative Physiology B*. 173: 87-112.

Mackintosh I.C., Dormehl I.C., Van Gelder A.L. und Du Plessis M. 1983. Blood volume, heart rate, and left ventricular ejection fraction changes in dogs before and after exercise during endurance training. *American Journal of Veterinary Research* 44: 1960-1962.

Massin M., Derkenne B. und von Bernuth G. 1999. Correlations between indices of heart rate variability in healthy children and children with congenital heart disease. *Cardiology* 91: 109-113.

Mautz W.W. und Fair J. 1980. Energy expenditure and heart rate for activities of white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 44 (2): 333-342.

Maxwell L.C., Barclay J.K., Mohrman D.E. und Faulkner J.A. 1977. Physiological characteristics of skeletal muscles of dogs and cats. *American Journal of Physiology* 233: 14-18.

McClave S.A., Lowen C.C., Kleber M.J., McConnel J.W., Jung L.Y. und Goldsmith L.J. 2003. Clinical Use of the respiratory quotient obtained from indirect calorimetry. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 27 (1): 21-26.

McLelland G., Zwingelstein G., Taylor C.R. und Weber J.M. 1994. Increased capacity for circulatory fatty acid transport in a highly aerobic mammal. *American Journal of Physiology* 266: 1280-1286.

McNab B.K. 1997. On the utility of uniformity in the definition of basal rate of metabolism. *Physiological Zoology* 70: 718-720.

McNab B.K. 2002. The physiological ecology of vertebrates: a view from energetics. Cornell University Press.

McNamara J.M. und Houston A.I. 1996. State-dependent life histories. *Nature* 380: 215-221.

Meijer G.A.L., Janssen G.M.E., Westerterp K.R., Verhoeven F., Saris W.H.M. und ten Hoor F. 1991a. The effect of a 5-month endurance-training programme on physical activity: evidence for a sex-difference in the metabolic response to exercise. *European Journal of Applied Physiology* 62: 12-17.

Meijer G.A.L., Westerterp K.R., Koper H. und ten Hoor F. 1989. Assessment of energy expenditure by recording heart rate and body acceleration. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21 (3): 343-349.

Meijer G.A.L., Westerterp K.R., Verhoeven F.M.H., Koper H.B.M. und ten Hoor F. 1991b. Methods to assess physical activity with special reference to motion sensors and accelerometers. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 38 (3): 221-229.

Melanson E.L., Ingebrigsten J.P., Bergouignan A., Ohkawara K., Kohrt W.M. und Lighton J.R.B. 2010. A new approach for flow-through respirometry measurements in humans. *American Journal of Physiology- Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 298: 1571-1579.

Meyer H. und Zentek J. 2005. Ernährung des Hundes. Parey Verlag, Stuttgart.

Meyer J.H. und Doty J.E. 1988. GI transit and absorption of solid food: Multiple effects of guar. *American Journal of Clinical Nutrition* 48: 267-273.

Michel K.E., Anderson W., Cupp C. und Laflamme D.P. 2011. Correlation of a feline muscle mass score with body composition determined by dual-energy X-ray absorptiometry. *British Journal of Nutrition* 106(S1): 57-59.

Michel K.E. und Brown D.C. 2011. Determination and application of cut points for accelerometer-based activity counts of activities with differing intensity in pet dogs. *American Journal of Veterinary Research* 72: 866-870.

Miyazaki H., Yoshida M., Samura K., Matsumoto H., Ikemoto F. und Tagawa M. 2002. Ranges of diurnal variation and the pattern of body temperature, blood pressure and heart rate in laboratory beagle dogs. *Experimental Animals* 51 (1): 95-98.

Montoye H.J., Washburn R., Servais S., Ertl A., Webster J.G. und Nagle F.J. 1983. Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 15 (5): 403-407.

Morpurgo B. 1897. Über Aktivitäts-Hypertrophie der willkürlichen Muskeln. *Virchows Archiv* 150: 522-554.

Mujika I. und Padilla S. 2001. Muscular characteristics of detraining in humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33 (8): 1297-1303.

Musch T.I., Haidet G.C., Ordway G.A., Longhurst J.C. und Mitchell J.H. 1985. Dynamic exercise training in foxhounds. I. Oxygen consumption and hemodynamic responses. *Journal of Applied Physiology* 59: 183-189.

Neufer P.D. 1989. The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. *Sports Medicine* 8 (5): 302-320.

Nilssen K.J., Johnsen H.K., Rognmo A. und Blix A.S. 1984. Heart rate and energy expenditure in resting and running Svalbard and Norwegian reindeer. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 246: 963-967.

Nolet B.A., Butler P.J., Masman D. und Woakes A.J. 1992. Estimation of the daily energy expenditure from heart rate and doubly labeled water in exercising geese. *Physiological Zoology* 65: 1188-1216.

NRC 2006. Nutrient requirements of dogs and cats, National Science, National Research Council of the USA.

Ordway G.A., Floyd D.L., Longhurst J.C. und Mitchell J.H. 1984. Oxygen consumption and hemodynamic responses during graded treadmill exercise in the dog. *Journal of Applied Physiology* 57: 601-607.

Orr N.W.M. 1966. The feeding of sledge dogs on antarctic expeditions. *British Journal of Nutrition* 20: 1-12.

Osborne B.E. und Leach G.D.A. 1971. The beagle electrocardiogram. *Food and Cosmetics Toxicology* 9: 857-864.

Palestrini C., Previde E.P., Spiezio C. und Verga M. 2005. Heart rate and behavioural responses of dogs in the Ainsworth's Strange Situation: A pilot study. *Applied Animal Behaviour Science* 94: 75-88.

Pape L.A., Price J.M., Alpert J.S. und Rippe J.M. 1986. Hemodynamics and left ventricular function: a comparison between adult racing greyhounds and greyhounds completely untrained from birth. *Basic Research in Cardiology* 81: 417-424.

Pastore C., Pirrone F., Balzarotti F., Faustini M., Pierantoni L. und Albertini M. 2011. Evaluation of physiological and behavioral stress-dependent parameters in agility dogs. *Journal of Veterinary Behaviour: Clinical Applications and Research* 6 (3): 188-194.

Patil A.R. und Bisby T.M. 2001. Comparison of maintenance energy requirement of clientowned dogs and kennel dogs. St. Louis, MO, USA: Purina Nutrition Forum.

Peterson C.C., Nagy K.A. und Diamond J. 1990. Sustained metabolic scope. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA* 87: 2324-2328.

Petrides P.E. 1998. Muskelgewebe. In: Löffler und P.E. Petrides, *Biochemie und Pathobiochemie*: 949-969, Springer Verlag Heidelberg.

Pette D. 1998. Training effects on the contractile apparatus. *Acta Physiologica Scandinavica* 162: 367-376.

Poehlman E.T. und Danforth E. 1991. Endurance training increases metabolic rate and norepinephrine appearance rate in older individuals. *American Journal of Physiology* 261: 233-239.

Pollock M.L. 1973. The quantification of endurance training programs. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 1: 155-188.

Preston T., Baltzer W. und Trost S. 2012. Accelerometer validity and placement for detection of changes in physical activity in dogs under controlled conditions on a treadmill. *Research in Veterinary Science* 93: 412-416.

Procurshim P., Russo A.K., Silva A.C., Picarro C., Freire E. und Tarasantchi J. 1989. Aerobic training effects on maximum oxygen consumption, lactate threshold and lactate disappearance during exercise recovery of dogs. *Comparative Biochemistry and Physiology* 94 A: 743-747.

Raab J.L., Eng P. und Waschler R.A. 1976. Metabolic cost of grade running in dogs. *Journal of Applied Physiology* 41: 532-535.

Rainbird A. und Kienzle E. 1990. Untersuchungen zum Energiebedarf des Hundes in Abhängigkeit von Rassezugehörigkeit und Alter. *Kleintierpraxis* 35 (4): 145-196.

Ricklefs R.E., Konarzewski M. und Daan S. 1996. The relationship between basal metabolic rate and daily energy expenditure in birds and mammals. *American Naturalist* 147: 1047–1071.

Rösler K., Hoppeler H., Conley K.E., Claassen H., Gehr P. und Howald H. 1985. Transfer effects in endurance exercise: Adaptions in trained and untrained muscles. *European Journal of Applied Physiology* 54: 355-362.

Rolfe D.F.S. und Brown G.C. 1997. Cellular energy utilization and molecular origin of standard metabolic rate in mammals. *Physiological Reviews* 3 (77): 731-758.

Rovira S., Munoz A. und Benito M. 2008. Effect of exercise on physiological, blood and endocrine parameters in search and rescue-trained dogs. *Veterinari Medicina* 53 (6): 333-346.

Ruoss C., 2011. Einfluss von Training und Guanidinoacetat-Supplementierung auf den Energiestoffwechsel von FBI-Hunden. Dissertationsarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Department Biologie II.

Saibene F., Mognoni P., Aguggini G. und Clement M.G. 1981. Work of breathing in dog during exercise. *Journal of Applied Physiology* 50: 1087-1092.

Saltin B., Blomqvist G., Mitchell J.H., Johnson R.L. Jr., Wildenthal K. und Chapman C.B. 1968. Response to exercise after bed rest and after training: A longitudinal study of adaptive changes in oxygen transport and body composition. *Circulation* 38 (Suppl. 7): VIII-78.

Sanders M., White F. und Bloor C. 1977. Cardiovascular responses of dogs and pigs exposed to similar physiological stress. *Comparative Biochemistry and Physiology* 58 A: 365-370.

Saunders P.U., Pyne D.B., Telford R.D. und Hawley J.A. 2004. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine* 34 (7): 465-485.

Scheuer J. und Tipton C.M. 1977. Cardiovascular adaptations to physical training. *Annual Review of Physiology* 39: 221-251.

Schmidt R.F., Thews G. und Lang F. 2000. *Physiologie des Menschen*. Springer, 29. Auflage.

Schmidt-Nielsen K. 1984. *Scaling. Why is animal size so important?* Press, C.U., ed.

Schmidt-Nielsen K. 1997. *Animal physiology. Adaption and environment*. Cambridge University Press.

Scholander P.F., Walters V., Hock R. und Irving L. 1950. Body insulation of some Arctic and tropical mammals and birds. *Biological Bulletin* 99: 225-236.

Schuler E. 1980. *Simon and Schuster's guide to dogs*. Simon and Schuster, New York.

Schulz L.O., Nyomba B.L., Alger S., Anderson T.E. und Ravussin E. 1991. Effect of endurance training on sedentary energy-expenditure measured in a respiratory chamber. *American Journal of Physiology* 260: 257-261.

Scott W., Stevens J. und Binder-Macleod S.A. 2001. Human skeletal muscle fiber type classifications. *Physical Therapy* 81: 1810-1816.

Segal K.R. 1987. Comparison of indirect calorimetric measurements of resting energy expenditure with a ventilated hood, face mask, and mouthpiece. *American Journal of Clinical Nutrition* 45 (6): 1420-1423.

Sejersted O.M. und Vaage O. 1987 (abstr). Components of oxygen debt in man analysed on the basis of its dependence on exercise duration. *Journal of Physiology* 390: 182.

Sharp T.A., Reed G.W., Sun M., Abumrad N.N. und Hill J.O. 1992. Relationship between aerobic fitness level daily energy expenditure in weight-stable humans. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 263: 121-128.

Shido O., Sakurada S. and Nagasaka T. 1991. Effect of heat acclimation on diurnal changes in body temperature and locomotor activity in rats. *Journal of Physiology- London* 433: 59-71.

Shvartz E. und Reibold R.C. 1990. Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 61: 3-11.

Siebert W.W. 1928. Untersuchungen über Hypertrophie des Skelettmuskels. *Klin. Med.* 109: 350-359.

Simonson D.C. und DeFronzo R.A. 1990. Indirect calorimetry: methodological and interpretative problems. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism* 258 (3): 399-412.

Smith J. und Mc Naughton L. 1993. The effects of intensity of exercise on excess postexercise oxygen consumption and energy expenditure in moderately trained men and women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 67 (5): 420-425.

Sneddon J.C., Minnaar P.P., Grosskopf J.F.W. und Groeneveld H.T. 1989. Physiological and blood biochemical responses to submaximal treadmill exercise in Canaan dogs before, during and after training. *Journal of the South African Veterinary Association* 60: 87-91.

Snow D.H., Billeter R., Mascarello F., Carpena E., Rowleron A. und Jenny E. 1982. No classical type IIB fibres in dog skeletal muscle. *Histochemistry* 75: 53-65.

Speakman J.R. 1998. The history and theory of the doubly labeled water technique. *American Journal of Clinical Nutrition* 68: 932-938.

Speakman J.R. 2000. The cost of living: field metabolic rates of small mammals. *Advances in Ecological Research* 30: 177-297.

Speakman J.R. 2005. Body size, energy metabolism and lifespan. *Journal of Experimental Biology* 208: 1717-1730.

Speakman J.R., Król E. und Johnson M.S. 2004. Physiological and Biochemical Zoology 77 (6): 900-915.

Speakman J.R., Perez-Camargo G., Mc Cappin T., Frankel T., Thomson P. und Defretin L. 2001. Validation of the doubly-labelled water technique in the domestic dog (*Canis familiaris*). *British Journal of Nutrition* 85: 75-87.

Speakman J.R. und Selman C. 2003. Physical activity and resting metabolic rate. *Proceedings of the Nutrition Society* 62: 621-634.

Staaen R. 1984. The exercise physiology of the racing Greyhound: Ph.D. thesis, School of Veterinary Studies, Murdoch University: Perth, Australia.

Steiger S.S., Kelley J.P., Cochran W.W. und Wikelski M. 2009. Low metabolism and inactive lifestyle of a tropical rain forest bird investigated via heart rate telemetry. *Physiological and Biochemical Zoology* 82: 580-589.

Stone H.L. 1977. Cardiac function and exercise training in conscious dogs. *Journal of Applied Physiology* 42: 824-832.

Suarez R.K. 1996. Mass-specific metabolic rates. *Annual Review of Physiology* 58: 583-605.

Tataranni P.A. und Ravussin E. 1995. Variability in metabolic rate: biological sites of regulation. *International Journal of Obesity and related Metabolic Disorders* 19 (Suppl. 4): 102-106.

Taylor C.R., Heglund N.C. und Maloiy G.M.O. 1982. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion. Metabolic energy consumption as a function of speed and body size. *Journal of Experimental Biology* 97: 1-21.

Taylor C.R., Schmidt-Nielsen K., Raab J. 1970. Scaling of energetic cost of running to body size in mammals. *American Journal of Physiology* 219: 1104-1107.

Taylor E.J., Adams C. und Neville R. 1995. Some nutritional aspects of ageing in dogs and cats. *Proceedings of the Nutrition Society* 54: 645-656.

Terrien J., Perret M. und Aujard F. 2011. Behavioral thermoregulation in mammals: a review. *Adaptive Mechanisms and Evolution*, UMR 7179, National Centre for Scientific Research, National Museum of Natural History, Brunoy, France. *Frontiers in Bioscience* (Impact Factor: 4.25) 16: 1428-1444.

Tipton C.M., Carey R.A., Eastin W.C. und Erickson H.H. 1974. A submaximal test for dogs: evaluation of effects of training, detraining, and cage confinement. *Journal of Applied Physiology* 37: 271-275.

Toeroek M., Polgár J.P., Kocsi G., Farkas V. und Szabó F. 2009. Correlation of ultrasonic measured ribeye area and fat thickness to the certain traits measured on slaughtered bulls. *Archiv Tierzucht* 52: 23-27.

Tremblay A., Coveney S., Després J.P., Nadeau A. und Prud'homme D. 1992. Increased resting metabolic rate and lipid oxidation in exercise-trained individuals: evidence for a role of beta-adrenergic stimulation. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 70: 1342-1347.

Tremblay A., Fontaine E., Poehlman E.T., Mitchell D., Perron L. und Bouchard C. 1986. The effect of exercise-training on resting metabolic rate in lean and moderately obese individuals. *International Journal of Obesity* 10 (6): 511-517.

Treuth M.S., Adolph A.L. und Butte N.F. 1998. Energy expenditure in children predicted from heart rate and activity calibrated against respiration calorimetry. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 275 (1): 12-18.

Trost S.G., McIver K.L. und Pate R.R. 2005. Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37 (11 Suppl.): 531-543.

Vincent I.C. und Leahy R.A. 1997. Real-time non-invasive measurement of heart rate in working dogs: a technique with potential applications in the objective assessment of welfare problems. *Veterinary Journal* 153 (2): 179-183.

Vincent I.C., Michell A.R. und Leahy R.A. 1993. Non-invasive measurement of arterial blood pressure in dogs: a potential indicator for the identification of stress. *Research in Veterinary Science* 54: 195-201.

von Engelhardt W. und Breves G. 2005. *Physiologie der Haustiere*: 237.

Weibel E.R. und Hoppeler H. 2005. Exercise-induced maximal metabolic rate scales with muscle aerobic capacity. *Journal of Experimental Biology* 208: 1635-1644.

Weibel E.R., Richard Taylor C. und Hoppeler H 1992. Variations in function and design: Testing symmorphosis in the respiratory system. *Respiration Physiology* 87: 325-348.

Weineck J. 1997. *Optimales Training*. Spitta Verlag, Balingen, 10. Auflage: 168.

Weiner J. 1989. Metabolic constraints to mammalian energy budgets. *Acta Theriologica* 34: 3-35.

Welk G.J., Schaben J.A. und Morrow jr. J.R. 2004. Reliability of accelerometry-based activity monitors: A generalizability study. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36 (9): 1637-1645.

Westerterp K.R. 2001. Limits to sustainable human metabolic rate. *The Journal of Experimental Biology* 204: 3183-3187.

Westerterp K.R. 2008. Physical activity as determinant of daily energy expenditure. *Physiology & Behaviour* 93: 1039-1043.

Westerterp K.R. 2009. Assessment of physical activity: a critical appraisal. *European Journal of Applied Physiology* 105: 823-828.

Westerterp K.R., Meijer G.A.L., Janssen E.M.E. Saris W.H.M. und Hoor F.T. 1992. Long-term effect of physical activity on energy balance and body composition. *British Journal of Nutrition* 68: 21-30.

Westerterp K.R. und Plasqui G. 2004. Physical activity and human energy expenditure. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care* 7: 607-613.

White C.R. und Kearney M.R. 2012. Determinants of inter-specific variation in basal metabolic rate. *Journal of Comparative Physiology B* 183: 1-26.

White C.R. und Seymour R.S. 2004. Does basal metabolic rate contain a useful signal? Mammalian BMR allometry and correlations with a selection of physiological, ecological, and life-history variables. *Physiological and Biochemical Zoology* 77: 929-941.

Wichert B., Opitz B., Wehr U. und Kienzle E. 1999. Energy requirements of pet dogs. 26th World Veterinary Association (WVA), 24th World Small Animal Veterinary Association (WSAVA), 3rd Conference of European Society of Veterinary and Comparative Nutrition (ESVCN). Lyon.

Wilson R.P, White C.R., Quintana F., Halsey L.G., Liebsch N., Martin G.R. und Butler P.J. 2006. Moving towards acceleration for estimates of activity-specific metabolic rate in free-living animals: the case of the cormorant. *Journal of Animal Ecology* 75: 1081-1090.

Wilterdink E.J., Ballor D.L. und Keeseey R.E. 1992. Amount of exercise per day and weeks of training: effects on body weight and daily energy expenditure. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 24: 396-400.

Wise S.P. und Gantt W.H. 1962. „Effect of person“ on heart rate and blood pressure in dogs. *Federation of American Societies for Experimental Biology* 21: 93.

Woakes A.J. und Butler P.J. 1983. Swimming and diving in tufted ducks, *Aythya fuligula*, with particular reference to heart rate and gas exchange. *Journal of Experimental Biology* 107: 311-329.

Wrigglesworth D.J., Mort E.S., Upton S.L. und Miller A.T. 2011. Accuracy of the use of triaxial accelerometry for measuring daily activity as a predictor of daily maintenance energy requirement in healthy adult Labrador Retrievers. *American Journal of Veterinary Research* 72 (9): 1151-1155.

Wyatt H.L. und Mitchell J.H. 1974. Influences of physical training on the heart of dogs. *Circulation Research* 35: 883-889.

Yam P.S., Penpraze P., Young D., Todd M.S., Cloney A.D., Houston-Callaghan K.A. und Reilly J.J. 2011. Validity, practical utility and reliability of Actigraph accelerometry for the measurement of habitual physical activity in dogs. *Journal of Small Animal Practice* 52: 86-92.

Young D.R., Mosher R., Erve P. und Spector H. 1959. Body temperature and heat exchange during treadmill running in dogs. *Journal of Applied Physiology* 14: 839-843.

Zentek J. und Meyer H. 1992. Energieaufnahme adulter Deutscher Doggen (Energy intake of adult Great Danes). *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 105: 325-327.

Zhusheng Y., Völgyi E., Wang R., Ember A., Wiklund P., Alén M., Tylavsky S.A. und Cheng S. 2012. Comparison of heart rate monitoring with indirect calorimetry for energy expenditure evaluation. *Journal of Sport and Health Science* 1: 178-183.

Zollner D. 2012. Effekte langfristigen Ausdauertrainings auf den Energiestoffwechsel beim Haushund (Beagle). *Dissertationsarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Department Biologie II.*

IX. ANHANG

1. Abbildungen: Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

1.1 Abbildungen: Korrelation von Polar-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

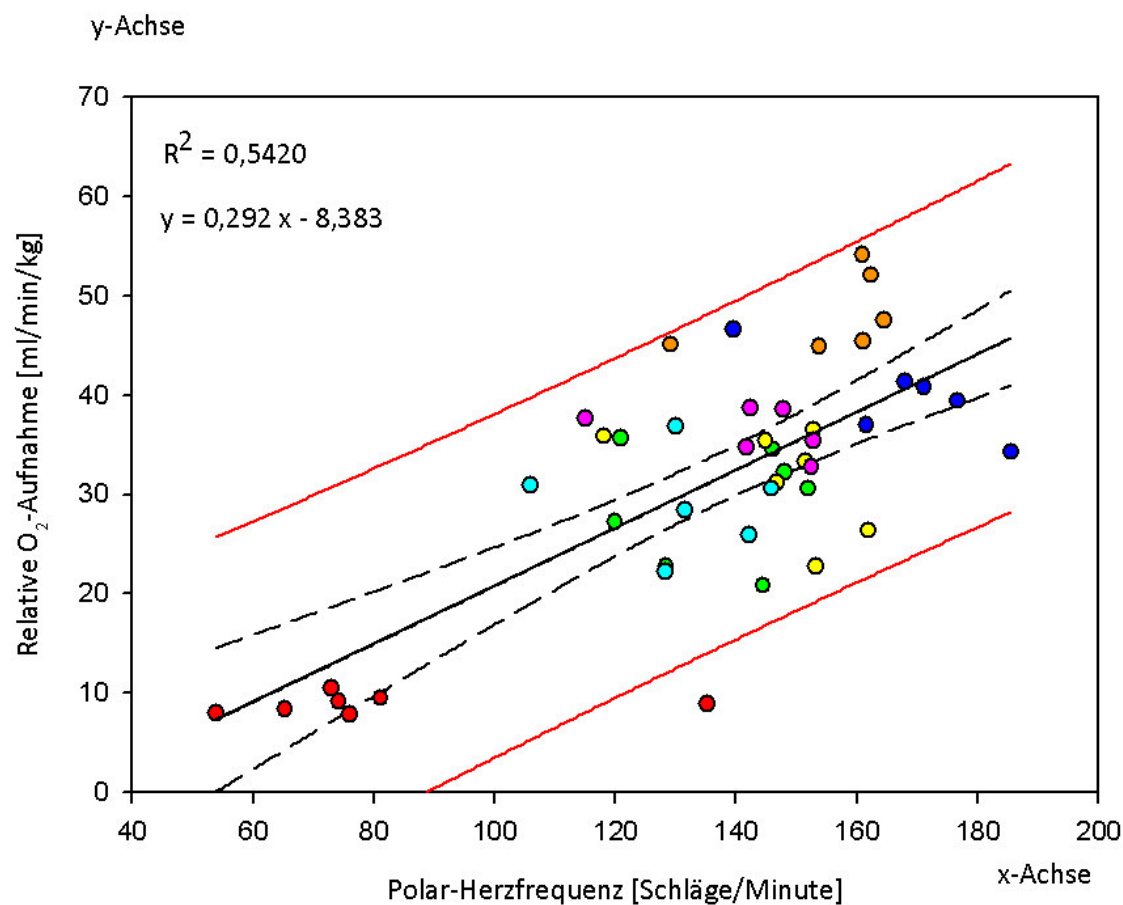


Abbildung 42: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „untrainiert I“ die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•); Schwellentest: 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); Stufentest: 3 km/h (•), 7 km/h (•), 10 km/h (•); N = 45 (sieben Hunde, jeweils sieben Messungen minus ein fehlender Wert bei jeweils 12, 3, 7 und 10 km/h).

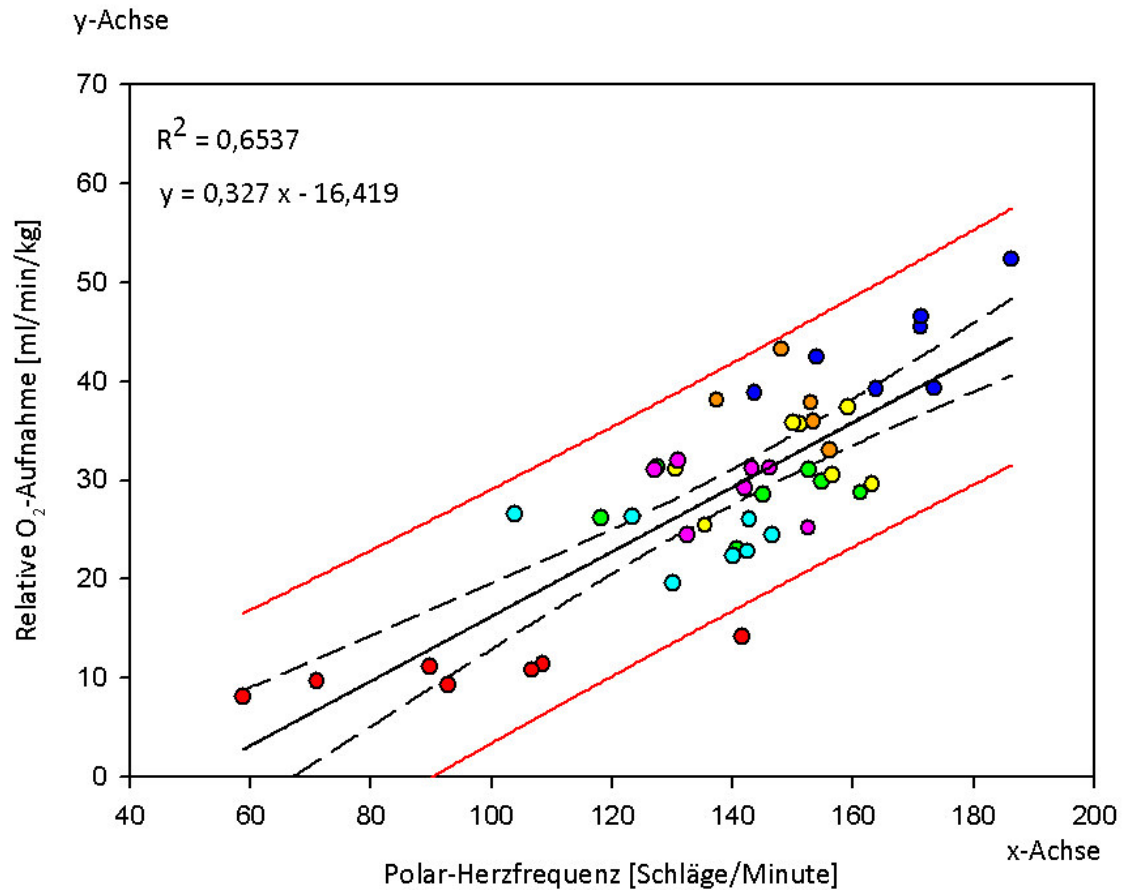


Abbildung 43: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „trainiert“ die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•); Schwellentest: 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); Stufentest: 3 km/h (•), 7 km/h (•), 10 km/h (•); N = 47 (sieben Hunde, jeweils sieben Messungen minus zwei fehlende Werte bei 10 km/h).

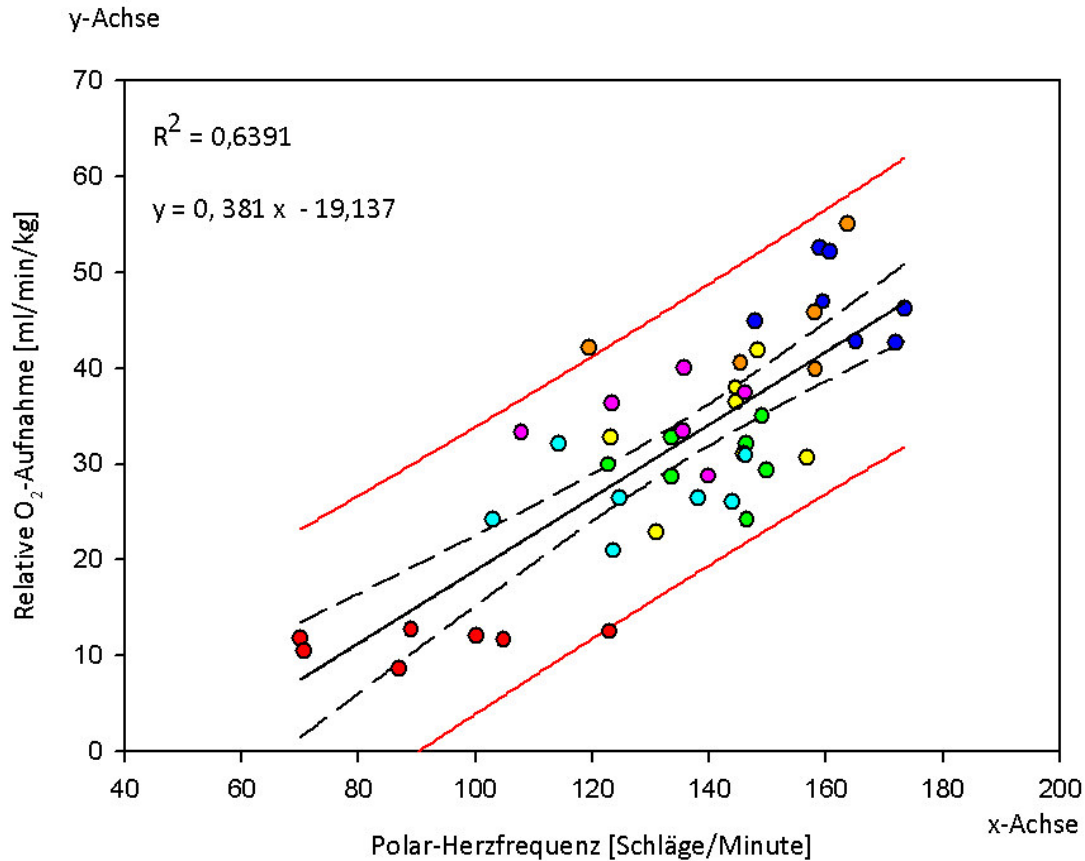


Abbildung 44: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „untrainiert II“ die das Verhältnis der Polar-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•); Schwellentest: 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); Stufentest: 3 km/h (•), 7 km/h (•), 10 km/h (•); N = 46 (sieben Hunde, jeweils sieben Messungen minus ein fehlender Wert bei 7 km/h und zwei bei 10 km/h).

1.2 Abbildungen: Korrelation EKG-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

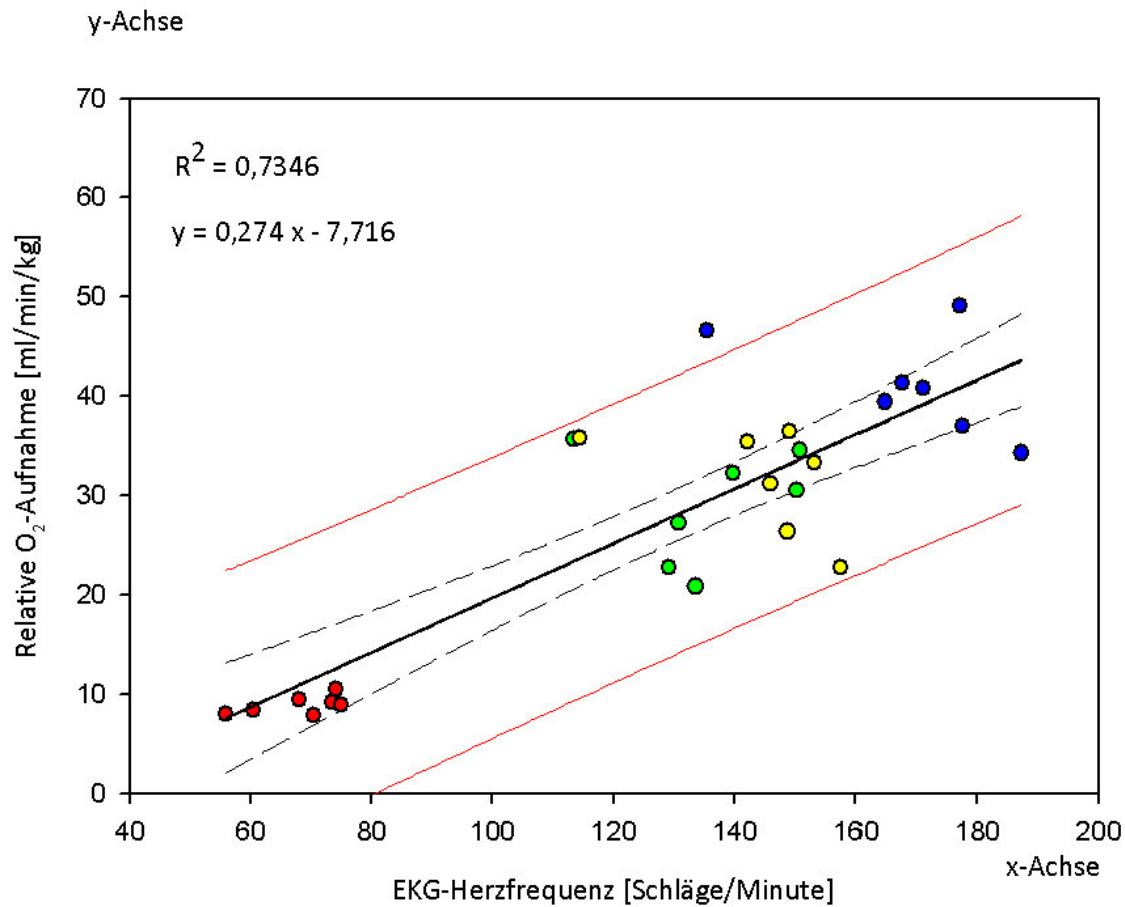


Abbildung 45: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „untrainiert I“ die das Verhältnis der EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•), 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); N = 28 (sieben Hunde, jeweils vier Messungen).

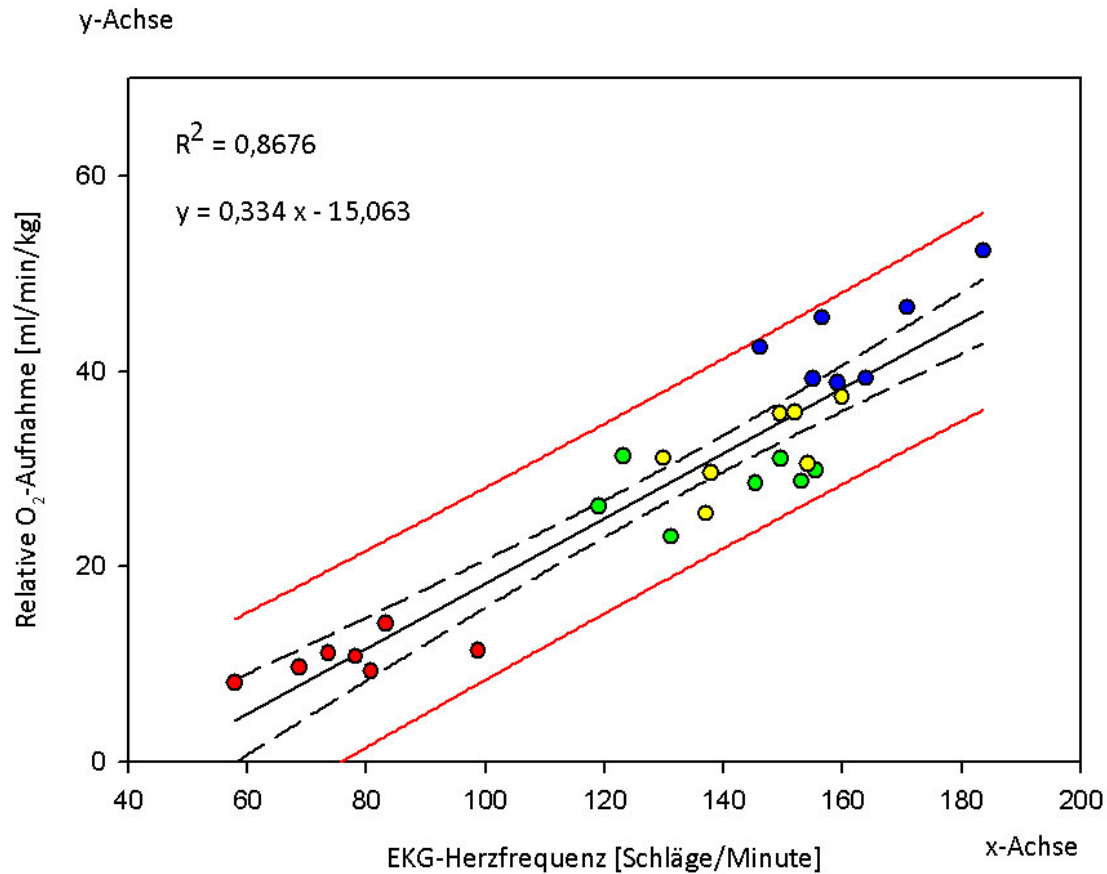


Abbildung 46: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „trainiert“ die das Verhältnis der EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•), 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); N = 28 (sieben Hunde, jeweils vier Messungen).

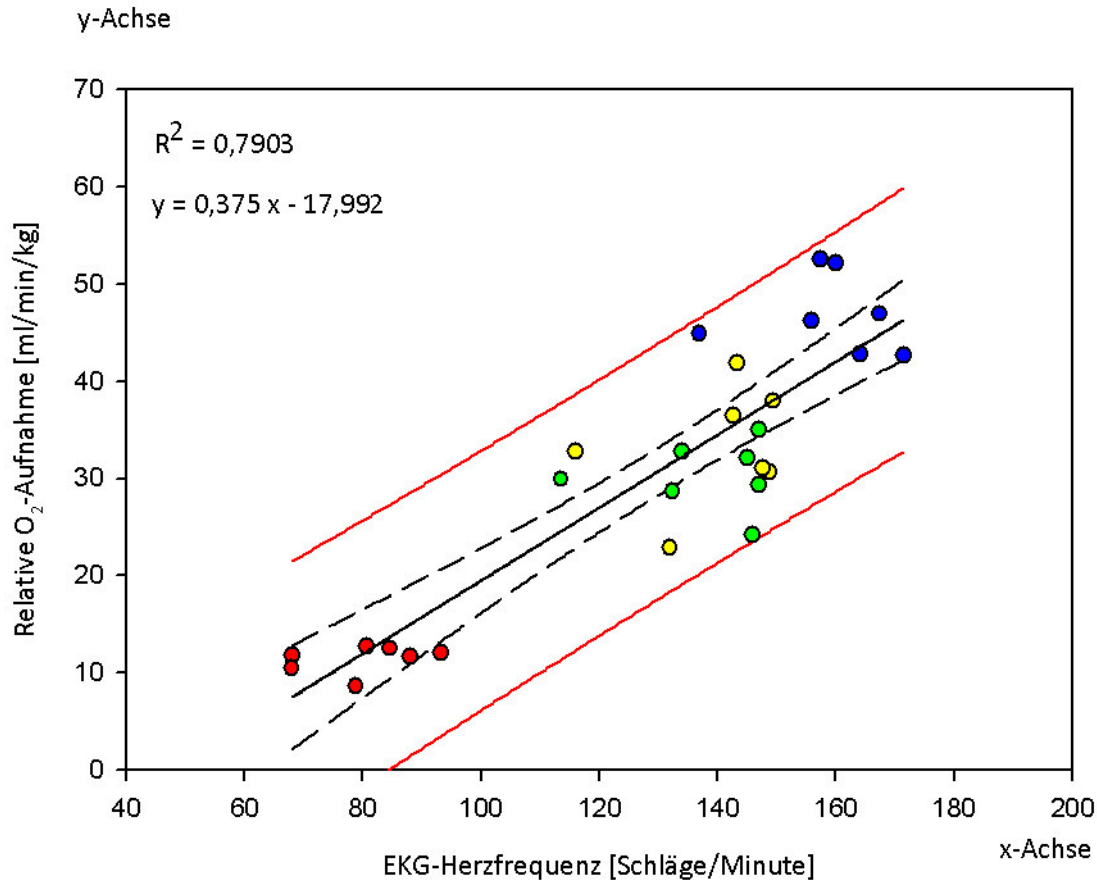


Abbildung 47: Regressionsgerade (—), Konfidenz- (--) und Vorhersageintervalle (—) im Zustand „untrainiert II“ die das Verhältnis der EKG-Herzfrequenz (x; Schläge/Minute) auf die rel. O₂-Aufnahme (y; ml/min/kg) aufzeigt. Ruhe (•), 5 km/h (•), 8 km/h (•), 12 km/h (•); N = 28 (sieben Hunde, jeweils vier Messungen).

2. Einzelwerttabellen

2.1 Körpergewicht

Tabelle 27: Mittleres Körpergewicht [MW ± StaAbw] der zehn Versuchshunde.

Messphase	Körpergewicht [kg]
Untrainiert I	13,8 ± 1,2 ^{ab}
Trainiert	14,1 ± 1,2 ^a
Untrainiert II	13,5 ± 1,3 ^b

Mittelwerte einer Spalte, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant.

2.2 Elektrokardiogramm

2.2.1 Ruhe-EKG

Tabelle 28: Mittlere Herzfrequenz [MW \pm StaAbw] in Ruhe von neun Hunden in den drei Trainingszuständen.

Messphase	Mittlere Herzfrequenz [Schläge/Minute]
Untrainiert I	78,0 \pm 11,0 ^a
Trainiert	85,4 \pm 12,2 ^b
Untrainiert II	89,2 \pm 11,2 ^b

Mittelwerte einer Spalte, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant.

2.2.2 Belastungs-EKG

Tabelle 29: Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenzen [MW \pm StaAbw] unter Belastung (Geschwindigkeiten 5, 8 und 12 km/h) von sieben Hunden in den drei Trainingszuständen.

	Untrainiert I	Trainiert	Untrainiert II
	Mittlere Herzfrequenz [Schläge/Minute]		
5 km/h	137,7 \pm 14,9	142,7 \pm 16,3	140,8 \pm 12,6
8 km/h	145,4 \pm 11,3	146,3 \pm 12,2	142,3 \pm 11,8
12 km/h	166,9 \pm 14,0 ^a	166,0 \pm 11,4 ^a	159,8 \pm 11,2 ^b
	Maximale Herzfrequenz [Schläge/Minute]		
5 km/h	152,3 \pm 17,3	161,6 \pm 15,8	156,9 \pm 11,8
8 km/h	171,8 \pm 5,6 ^a	161,6 \pm 12,7 ^{ab}	156,6 \pm 13,2 ^b
12 km/h	181,3 \pm 14,5 ^a	180,9 \pm 9,2 ^a	170,9 \pm 13,0 ^b
	Minimale Herzfrequenz [Schläge/Minute]		
5 km/h	122,6 \pm 16,6	127,1 \pm 16,1	128,3 \pm 12,8
8 km/h	133,2 \pm 13,4	135,0 \pm 14,8	134,2 \pm 11,1
12 km/h	137,8 \pm 14,9 ^a	145,4 \pm 10,1 ^b	137,5 \pm 13,0 ^{ab}

Mittelwerte einer Reihe, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant.

2.3 Respirometrie

2.3.1 Relative Sauerstoffaufnahme in Ruhe

Tabelle 30: Zwei-Minuten-Minima [MW \pm StaAbw] der relativen Sauerstoffaufnahme und der relativen Sauerstoffaufnahme umgerechnet auf die metabolische KM in Ruhe von neun Hunden in den drei Trainingszuständen.

Messphase	Relative Sauerstoffaufnahme	
	[ml/min/kg]	[ml/min/kg ^{0,75}]
Untrainiert I	9,0 \pm 1,4	17,4 \pm 3,0
Trainiert	10,2 \pm 2,2	19,7 \pm 3,9
Untrainiert II	12,5 \pm 2,6	23,9 \pm 5,0

2.3.2 Korrelation von Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

2.3.2.1 Korrelation von Polar-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

Tabelle 31: Werte der Polar-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „untrainiert I“ während des Schwellentests, der Ruhemessung und des Stufentests.

	Untrainiert I													
	Schwellentest						Ruhemessung		Stufentest					
	5 km/h		8 km/h		12 km/h		0 km/h		3 km/h		7 km/h		10 km/h	
	MW	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF
Anni	151,9	30,6	144,8	35,4	168,0	41,3	74,2	9,2	145,8	30,6	147,9	38,5	161,1	45,4
Holly	144,5	20,8	161,8	26,4	161,6	37,0	81,1	9,5	128,3	22,2	152,5	32,8	164,6	47,5
Manjula	128,4	22,8	153,2	22,7	185,4	34,3	53,9	8,0						
Möhre	119,9	27,2	152,7	36,5			72,9	10,5	131,6	28,4	141,7	34,7	160,9	54,1
Schoko	148,0	32,3	146,7	31,2	176,6	39,4	76,1	7,9	142,1	25,9	152,8	35,4	162,3	52,1
Umbra	121,0	35,7	118,2	35,9	139,5	46,6	65,3	8,4	106,0	30,9	115,1	37,7	129,2	45,1
Wendy	146,1	34,5	151,5	33,3	171,1	40,8	135,2	8,9	130,0	36,8	142,3	38,7	153,8	44,9

Tabelle 32: Werte der Polar-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „trainiert“ während des Schwellentests, der Ruhemessung und des Stufentests.

	Trainiert													
	Schwellentest						Ruhemessung		Stufentest					
	5 km/h		8 km/h		12 km/h		0 km/h		3 km/h		7 km/h		10 km/h	
MW	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂
Anni	145,0	28,6	151,1	35,7	171,2	45,5	108,5	11,4	142,5	22,8	142,0	29,3	153,4	35,9
Holly	154,9	29,9	159,2	37,4	186,3	52,3	89,7	11,1	140,1	22,4	143,2	31,2		
Manjula	118,3	26,1	163,2	29,6	163,8	39,2	58,8	8,1	103,9	26,6	127,1	31,1	148,1	43,3
Möhre	140,7	23,1	135,4	25,5	143,7	38,8	92,8	9,3	130,1	19,6	132,5	24,5		
Schoko	161,2	28,8	156,6	30,6	173,4	39,3	141,5	14,2	146,5	24,4	152,5	25,2	156,1	33,0
Umbra	127,6	31,3	130,5	31,1	153,9	42,5	71,0	9,7	123,5	26,3	131,0	31,9	137,4	38,1
Wendy	152,6	31,1	150,0	35,8	171,4	46,5	106,7	10,8	142,8	26,0	146,1	31,3	153,0	37,8

Tabelle 33: Werte der Polar-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „untrainiert II“ während des Schwellentests, der Ruhemessung und des Stufentests.

	Untrainiert II													
	Schwellentest						Ruhemessung		Stufentest					
	5 km/h		8 km/h		12 km/h		0 km/h		3 km/h		7 km/h		10 km/h	
MW	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂	Polar-HF	rel. VO ₂
Anni	149,1	35,0	148,3	41,9	159,0	52,6	100,1	12,1	146,3	30,9	135,7	40,1		
Holly	146,5	24,2	156,9	30,7	172,0	42,6	104,8	11,7	123,6	21,0	139,8	28,7	158,2	39,8
Manjula	133,5	32,8	130,9	22,8	173,5	46,2	70,1	11,8	114,2	32,2	123,4	36,3	145,4	40,6
Möhre	133,6	28,7	144,5	36,4	160,7	52,2	86,9	8,6	124,7	26,5	135,6	33,4	158,0	45,8
Schoko	149,9	29,4	145,9	31,0	165,1	42,7	89,0	12,7	144,0	26,1				
Umbra	122,7	29,9	123,2	32,7	147,8	44,9	70,7	10,5	103,0	24,2	107,9	33,3	119,5	42,1
Wendy	146,3	32,1	144,5	38,0	159,5	46,9	123,0	12,5	138,1	26,5	146,2	37,4	163,6	55,1

2.3.2.2 Korrelation EKG-Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

Tabelle 34: Werte der EKG-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „untrainiert I“ während des Schwellentests und der Ruhemessung.

	Untrainiert I							
	Schwellentest						Ruhemessung	
	5 km/h		8 km/h		12 km/h		0 km/h	
MW	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂
Anni	150,3	30,6	142,1	35,4	167,6	41,3	73,5	9,2
Holly	133,6	20,8	148,8	26,4	177,5	37,0	68,0	9,5
Manjula	129,2	22,8	157,5	22,7	187,3	34,3	55,8	8,0
Möhre	130,8	27,2	149,1	36,5	177,1	49,1	74,1	10,5
Schoko	139,8	32,3	146,0	31,2	164,6	39,4	70,4	7,9
Umbra	113,5	35,7	114,5	35,9	135,4	46,6	60,5	8,4
Wendy	150,9	34,5	153,2	33,3	171,0	40,8	75,0	8,9

Tabelle 35: Werte der EKG-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „trainiert“ während des Schwellentests und der Ruhemessung.

	Trainiert							
	Schwellentest						Ruhemessung	
	5 km/h		8 km/h		12 km/h		0 km/h	
MW	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂
Anni	145,4	28,6	149,5	35,7	156,5	45,5	98,8	11,4
Holly	155,5	29,9	159,9	37,4	183,6	52,3	73,6	11,1
Manjula	119,0	26,1	137,9	29,6	155,0	39,2	57,9	8,1
Möhre	131,2	23,1	137,1	25,5	159,2	38,8	80,8	9,3
Schoko	153,2	28,8	154,1	30,6	163,9	39,3	83,3	14,2
Umbra	123,1	31,3	129,9	31,1	146,1	42,5	68,8	9,7
Wendy	149,6	31,1	152,0	35,8	170,8	46,5	78,2	10,8

Tabelle 36: Werte der EKG-Herzfrequenz [Schläge/Minute] und der dazugehörigen relativen O₂-Aufnahme [ml/min/kg] von sieben Hunden im Zustand „untrainiert II“ während des Schwellentests und der Ruhemessung.

	Untrainiert II							
	Schwellentest						Ruhemessung	
	5 km/h		8 km/h		12 km/h		0 km/h	
MW	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂	EKG-HF	rel. VO ₂
Anni	147,0	35,0	143,3	41,9	157,5	52,6	93,2	12,1
Holly	145,8	24,2	148,9	30,7	171,4	42,6	88,1	11,7
Manjula	134,0	32,8	131,9	22,8	155,8	46,2	68,0	11,8
Möhre	132,3	28,7	142,6	36,4	160,0	52,2	78,8	8,6
Schoko	147,0	29,4	147,7	31,0	164,1	42,7	80,6	12,7
Umbra	113,5	29,9	116,0	32,7	136,9	44,9	68,0	10,5
Wendy	145,1	32,1	149,4	38,0	167,3	46,9	84,6	12,5

2.3.3 Atemfrequenz unter Belastung

Tabelle 37: Zwei-Minuten-Mittelwerte der Atemfrequenz [MW ± StaAbw] unter Belastung von sieben Hunden in den drei Trainingszuständen.

	Atemfrequenz [l/min]		
	Untrainiert I	Trainiert	Untrainiert II
5 km/h	36,6 ± 7,9 ^a	33,8 ± 5,8 ^b	27,8 ± 4,6 ^c
8 km/h	55,2 ± 12,8 ^a	40,2 ± 8,3 ^b	31,1 ± 6,1 ^c
12 km/h	94,8 ± 12,5 ^a	67,1 ± 20,2 ^b	45,0 ± 8,4 ^c

Mittelwerte einer Reihe, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant.

2.3.4 Atemminutenvolumen unter Belastung

Tabelle 38: Zwei-Minuten-Mittelwerte des Atemminutenvolumens [MW \pm StaAbw] unter Belastung von sieben Hunden in den drei Trainingszuständen.

	Atemminutenvolumen [l/min]		
	Untrainiert I	Trainiert	Untrainiert II
5 km/h	11,7 \pm 1,7 ^a	10,8 \pm 1,4 ^{ab}	10,4 \pm 1,0 ^b
8 km/h	15,5 \pm 3,0 ^a	12,4 \pm 1,6 ^{ab}	11,8 \pm 1,3 ^b
12 km/h	27,2 \pm 2,5 ^a	20,7 \pm 5,1 ^b	16,9 \pm 2,1 ^c

Mittelwerte einer Reihe, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant.

2.4 Aktivität

Tabelle 39: Freie Aktivität der zehn Hunde in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur [MW \pm StaAbw].

Gruppe	Aktivität [Activity counts/Stunde]
A -10°C bis +5°C	57527 \pm 18868 ^a
B +5°C bis +20°C	43351 \pm 20251 ^b
C +20°C bis +30°C	32806 \pm 13439 ^c

Mittelwerte einer Spalte, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant.

3. Technische Daten

3.1 Actical

Tabelle 40: Technische Daten des Acticals.

Größe (L/B/H):	28 x 27 x 10 mm
Gewicht:	17 g
Speicher:	64 kb
Aufnahmedauer (Epochenlänge 1 Minute):	45 Tage
Lebensdauer der Batterie:	180 Tage

3.2 MetaMax® 3B

Tabelle 41: Technische Daten des MetaMax® 3 B-Gerätes.

Größe (L/B/H):	2 x 120 x 110 x 45 mm
Gewicht:	650 g inkl. Akku

3.3 Televet100

Tabelle 42: Technische Daten des Televet100.

Größe (L/B/H):	124 x 65 x 22 mm
Gewicht:	95 g ohne Batterien
Kanäle:	Zwei (entsprechend sechs Vektoren)
Kommunikation:	Bluetooth, ca. 100 m Reichweite
Frequenz:	0,05 – 100 Hz
Batterie:	2 x AA

3.4 Windmaschine

Tabelle 43: Technische Daten der Windmaschine.

Maße:	1255 x 410 x 1285 mm
Gewicht:	50,8 kg
Luftmenge max.:	25000 m ³ /h
Rotordrehzahl max.:	685/min
Gebläsestufen:	2
Anschlussspannung:	230 V/50 Hz
Leistungsaufnahme max.:	0,6 kW

4. Ergebnisse der Analyse vom Statistischen Beratungslabor (StaBLab)

Sowohl der relative Sauerstoffverbrauch [ml/min/kg] als auch die Herzfrequenz [Schläge/Minute] (gemessen mittels Polar-Messgerät) der Beagles aus der vorliegenden Studie und der Zollner-Studie (2012) wurden in Abhängigkeit des Trainingszustandes, der Laufgeschwindigkeit sowie der Außentemperatur untersucht. Für diese zusätzliche Analyse wurden die sieben Hunde der eigenen Studie verwendet, die sowohl in Ruhe als auch unter Belastung respirometrisch ausgewertet werden konnten. Drei weitere Hunde, also insgesamt zehn Hunde konnten aus der Studie von Zollner (2012) verwendet werden.

Bei der Interpretation der Effekte wurde davon ausgegangen, dass alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten werden.

Modell für den Sauerstoffverbrauch
Tabelle 44: Modell für den Sauerstoffverbrauch

	numDF	denDF	F-Wert	p-Wert
(Intercept)	1	172	118,7	< 0,0001
Trainingszustand	2	172	11,1	< 0,0001
Laufgeschwindigkeit	3	172	551,4	< 0,0001
Temperatur	1	172	42,8	< 0,0001

Alle Effekte sind signifikant von Null verschieden.

Trainingszustände: Es wurde ein signifikanter Einfluss des Trainingszustands auf den Sauerstoffverbrauch (p-Wert < 0,0001) festgestellt. Befand sich ein Hund statt im untrainierten Zustand vor dem Training (Referenz) in einem trainierten Zustand, so war sein Sauerstoffverbrauch im Mittel um 0,05 ml/min/kg höher. Befand sich der Hund statt im untrainierten vor dem Training im nicht-trainierten Zustand nach dem Training, so war sein Sauerstoffverbrauch im Mittel um 3,17 ml/min/kg niedriger. Der Sauerstoffverbrauch war im Zustand „untrainiert II“ also signifikant niedriger als vor dem Training.

Laufgeschwindigkeit: Die Laufgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf den Sauerstoffverbrauch (p-Wert < 0,0001). Lag die Laufgeschwindigkeit statt bei 0 km/h (Referenz) bei 5, 8 bzw. 12 km/h, so war der Sauerstoffverbrauch im Mittel um 20,43 bzw. 23,45 bzw. 35,63 ml/min/kg höher.

Temperatur: Es ergab sich ein signifikanter Einfluss der Temperatur auf den Sauerstoffverbrauch (p-Wert < 0,0001). Bei Außentemperaturen im Bereich von 5 – 20°C statt im Bereich von -10 - 5°C war der Sauerstoffverbrauch im Mittel um 5,03 ml/min/kg geringer.

Modell für die Herzfrequenz**Tabelle 45: Modell für die Herzfrequenz**

	numDF	denDF	F-Wert	p-Wert
(Intercept)	1	172	452,4	< 0,0001
Trainingszustand	2	172	1,4	0,2525
Laufgeschwindigkeit	3	172	366,5	< 0,0001
Temperatur	1	172	0,1	0,8143

Trainingsphase und Temperatur haben keinen signifikanten Einfluss.

Trainingszustände: Es wurde kein signifikanter Einfluss des Trainingszustandes auf die Herzfrequenz ($p > 0,05$) festgestellt.

Laufgeschwindigkeit: Die Laufgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf die Herzfrequenz ($p\text{-Wert} < 0,0001$). Lag die Laufgeschwindigkeit statt bei 0 km/h (Referenz) bei 5, 8 bzw. 12 km/h, so war die Herzfrequenz im Mittel um 57,48 bzw. 62,07 bzw. 83,28 Schläge pro Minute höher.

Temperatur: Es ergab sich kein signifikanter Einfluss der Temperatur auf die Herzfrequenz ($p\text{-Wert} > 0,05$).

Korrelation zwischen Sauerstoffverbrauch und Herzfrequenz

$R = 0,8429$

Die Korrelation zwischen den Messgrößen ist relativ hoch, sie messen eine sehr ähnliche Information.

Anschrift Statistisches Beratungslabor (StaBLab):

Ludwig-Maximilians-Universität München

Institut für Statistik

Ludwigstr. 33

80539 München

X. DANKSAGUNG

Ich bedanke mich ganz herzlich bei Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle und Herrn Prof. Dr. J. Matthias Starck für die Überlassung des interessanten Themas meiner Promotionsarbeit.

Bei Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle bedanke ich mich sehr für Ihre hilfsbereite und tatkräftige Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. J. Matthias Starck danke ich besonders für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit und die stets freundliche Hilfsbereitschaft.

Herzlicher Dank geht an Frau Dr. Britta Dobenecker für die intensive Betreuung der Arbeit, insbesondere während der Versuchsphase.

Vielen Dank an Frau Dr. Nadine Gerth für die freundliche und geduldige Einarbeitung in den Versuchsaufbau und die vielen Ratschläge.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Helmut Küchenhoff und Herrn David Rügamer des Statistischen Beratungslabors der Ludwig-Maximilians-Universität München für die statistische Auswertung einiger Daten.

Ich danke dem freundlichen Team der Außenstelle Oberwiesenfeld des Lehrstuhls für Tierernährung und Diätetik, insbesondere Frau Dr. Nicola Köber und Frau Stephanie Schmitt.

Ein ganz besonderer Dank geht auch an die Tierpfleger am Oberwiesenfeld, Frau Christiane Funk, Frau Maria Schütze, Herrn Steffen Mitschke und Herrn Adrian Frille, die mir bei der Arbeit mit den Hunden stets hilfsbereit zur Seite standen.

Ich danke Herrn Dr. Hans-Christian Comberg und Frau Anna Rettenmeier für das genaue Korrekturlesen dieser Arbeit und die guten Ideen.

Vielen lieben Dank möchte ich Herrn Dr. Sebastian Helmsdorfer für seine umfassende Unterstützung und wiederholte Hilfsbereitschaft aussprechen.

Bei meinem Onkel Karl Herramhof bedanke ich mich in besonderem Maße für sein stets offenes Ohr und seinen tatkräftigen Beistand.

Von Herzen danke ich meiner lieben Schwester und Vertrauten Julia Helmsdorfer für ihre beispiellose Aufrichtigkeit und unsere enge Verbundenheit. Außerdem danke ich ihrem Ehemann Florian Helmsdorfer sehr für die angenehme und kurzweilige Zeit in München.

Besonderer Dank geht an meine liebevollen Eltern, Christine und Karl Meyringer. Ihnen widme ich diese Arbeit, dafür, dass sie mir das Studium der Veterinärmedizin ermöglicht haben. Ich danke ihnen zutiefst für ihre bedingungslose Unterstützung und dass sie immer an mich glauben.

Von tiefstem Herzen danke ich meinem Ehemann Carl-Philipp Rettenmeier und unseren gemeinsamen Töchtern Carla und Paula. Sie geben mir unaufhörlich Kraft, Liebe und Unterstützung. Sie bedeuten mir Alles.